Willemita y otros minerales de las canteras de Sant Fost de Campsentelles, Vallès Oriental, Barcelona, Cataluña

Josep Antoni Ignacio Herrera
Grup Mineralògic Català
Montornès del Vallès, Barcelona, España
jaignacio@icloud.com

Xavier Rodríguez Poblador
Grup Mineralògic Català
Terrassa, Barcelona, España
cariesman68@gmail.com

Emilio Téllez García
Grup Mineralògic Català
Vilanova del Vallès, Barcelona, España
almandino@me.com

Joan Rosell Riba
Grup Mineralògic Català
El Prat de Llobregat, Barcelona, España
joan.rosell@minercat.com

Jordi Ibáñez Insa
Geociencias Barcelona (GEO3BCN-CSIC)
Barcelona, España
jibanez@geo3bcn.csic.es

Adolf Cortel Ortuño
Grup Mineralògic Català
Olesa de Montserrat, Barcelona, España
acortel@xtec.cat

RESUMEN

En el término municipal de Sant Fost de Campsentelles, Barcelona, casi en el límite con el de Montcada i Reixac, se ubican las canteras de Can Rovira y de Can Donadéu. Ambas explotan el zócalo granodiorítico de la sierra de Marina.

Durante los últimos seis años hemos podido visitar, con autorización de la empresa PROMSA, la cantera de Can Rovira. La de Can Donadéu no ha sido posible estudiarla *in situ*.

El estudio de los filones encajados en la granodiorita nos ha permitido conocer una interesante asociación mineral en estas canteras, con: arsenopirita, barita, calcita, calcopirita, cuarzo, esfalerita, fluorita, galena y pirita. Como minerales secundarios hemos encontrado: azurita, brochantita, cerusita, epidota, eritrita, malaquita, mimetita (y su variedad cálcica), posnjakita, surita, willemita y wulfenita. Dos de estas especies, surita y willemita, así como la variedad cálcica de mimetita, han requerido estudios analíticos más exhaustivos. En el caso de la mimetita cálcica, para determinar si se trataba de esta variedad o de hedifana. La surita es la primera cita en la Europa continental, mientras que la willemita lo es en Cataluña.

PALABRAS CLAVE

Can Rovira, Can Donadéu, Sant Fost de Campsentelles, Vallès Oriental, Barcelona, Cataluña, mimetita cálcica, surita, willemita.

ABSTRACT

Can Rovira and Can Donadéu quarries are located in Sant Fost de Campsentelles, Barcelona, close to the border with Montcada i Reixac town. The Serra Marina granodiorite basement is exploited in both quarries. During the last six years, we were able to carry out a mineralogical study of the Can Rovira quarry, which is currently inactive, with the authorization of PROMSA. Unfortunately, we could not investigate the Can Donadéu quarry, despite our interest, since it is still nowadays in activity. The study of the hydrothermal veins hosted in the basement granites determined an interesting mineral association present in these quarries: arsenopyrite, barite, calcite, chalcopyrite, quartz, sphalerite, fluorite, galena and pyrite. As secondary minerals we have also found: azurite, brochantite, cerussite, epidote, erythrite, malachite, mimetite (and Ca-bearing mimetite), posnjakite, surite, willemite and wulfenite. The identification of surite and willemite, as well as the calcian variety of mimetite, have required extensive analytical studies. In the case of Ca-bearing mimetite, such analyses were carried out to determine if this mineral could be hedyphane. In turn, the present work represents the first citation of willemite in Catalonia and surite in the entire continental Europe.

KEYWORDS

Can Rovira, Can Donadéu, Sant Fost de Campsentelles, Vallès Oriental, Barcelona, Catalonia, Ca-bearing mimetite, surite, willemite.

Ignacio Herrera, Josep Antoni; Rodríguez Poblador, Xavier; Téllez García, Emilio; Rosell Riba, Joan; Ibáñez Insa, Jordi; Cortel Ortuño, Adolf (2021): "Willemita y otros minerales de las canteras de Sant Fost de Campsentelles, Vallès Oriental, Barcelona, Cataluña". *Paragénesis*; vol. 3, núm. 1 (2021-1), pp. 3-46.

INTRODUCCIÓN

Hacia 2015 se iniciaron los primeros trabajos de recogida de muestras, con la visita de dos de los autores a una de las canteras, actualmente en inactividad, en la zona de Sant Fost de Campsentelles. Al poco se sumó un tercer

miembro, formando lo que desde entonces sería un equipo de apasionados por la mineralogía y la geología. Fruto de esa nueva unión se continuó una investigación que por entonces se realizaba en las minas de Can Magre, en Vidreres (Girona). Una vez terminado el estudio mineralógico de esas minas se procedió a redactar el presente artículo sobre las canteras de Sant Fost de Campsentelles. La cantera de Can Donadéu no ha sido posible explorarla, pese a nuestro interés, por estar en actividad, por lo que se ha recurrido para su conocimiento a ejemplares de museos y coleccionistas y a algún encuentro casual de ejemplares en ferias o intercambios.

El estudio de las canteras permitió comprobar que se concretaban algunas especies singulares y se estaban consiguiendo buenos ejemplares minerales. A finales de 2018, las expectativas mineralógicas se vieron recompensadas con el hallazgo y la determinación de willemita, a la que dedicaremos todo un gran apartado en este artículo. Posteriormente, se aclaró la duda de si ciertos ejemplares de composición intermedia entre mimetita y hedifana correspondían a esta última especie o bien se trataba de la variedad cálcica de mimetita, que es lo que finalmente resultó ser. Más recientemente, y casi al acabar de redactar este artículo, se han determinado ejemplares como eritrita y surita.

La willemita, encontrada por Emilio Téllez en un filón de esfalerita, se determinó en primera instancia *a visu*, por Marc Campeny, conservador de Mineralogía del Museu de Ciències Naturals de Barcelona. El posterior análisis Raman realizado por Adolf Cortel permitió su identificación, ratificada finalmente por difracción de rayos X, en el Servicio de DRX del GEO3BCN-CSIC. La willemita de Can Rovira es la primera cita de esta especie en Cataluña.

En este sentido, la analítica realizada durante el proceso de estudio de los diversos ejemplares encontrados ha permitido cumplir exitosamente diversos objetivos de la investigación. Así, se ha logrado confirmar o rechazar algunas de las hipótesis iniciales sobre algunas muestras encontradas sobre el terreno. El caso del estudio de la mimetita fue particularmente interesante. En algunos ejemplares analizados se encontró un cierto contenido en calcio, que permitía situarlos en puntos intermedios en la serie mimetita-hedifana, pero mayoritariamente más próximos a la primera, de ahí que hablemos de mimetita cálcica.

Fue necesario recurrir a sistemas analíticos más precisos, como la microsonda electrónica, para dilucidar qué especie o especies se encuentran realmente en Sant Fost. Precisamente durante la preparación de las probetas para los análisis de mimetita-hedifana, Joan Rosell determinó la presencia de una especie poco habitual como es la surita, un filosilicato de plomo. Se trata de la segunda cita en Europa, ya que sólo se ha determinado en la isla italiana de Cerdeña. Finalmente, en una de las últimas visitas a la cantera de Can Rovira, el compañero del GMC Valentín Bártulos encontró unas pequeñas eflorescencias rosadas sobre calcopirita, cuyo análisis indicó que se trataba de eritrita.

Por otra parte, cabe remarcar la incorporación al equipo inicial de prospección de campo de la labor específica de diversos expertos en pruebas de análisis de laboratorio y de interpretación sobre el terreno. En particular, quisiéramos destacar una de las visitas a la cantera acompañados por Marc Campeny que, junto al buen criterio geológico de Emilio Téllez, nos permitió la comprensión e identificación de las diversas estructuras geológicas del yacimiento. Han formado parte de este "camino" numerosas tareas realizadas, como las prospecciones en granitoides con infiltraciones calcáreas, que llevaron a hallazgos como el de la geoda que denominamos 'Sanse', de la cual se obtuvieron excelentes cristales de calcita.

La estrecha colaboración entre el grupo de trabajo de campo y el equipo científico ha permitido crear una sinergia que ha ayudado enormemente a ampliar los conocimientos sobre la paragénesis y la geología de este yacimiento.

METODOLOGÍA

Tras las salidas de campo, los ejemplares recogidos eran estudiados para localizar posibles especies minerales de interés. Siguiendo los protocolos del servicio de análisis del GMC, se confeccionaban las pertinentes fichas de cada ejemplar a analizar.

La primera aproximación analítica se realizó mediante la combinación de técnicas espectroscópicas, como Raman (láser de 532 nm y espectrómetro con configuración Czerny-Turner y red de difracción de 1.200 líneas/mm) y LIBS (espectroscopia de plasma inducido mediante láser Kigre de 1.064 nm y realizando la detección con un espectrómetro Ocean Optics USB2000).

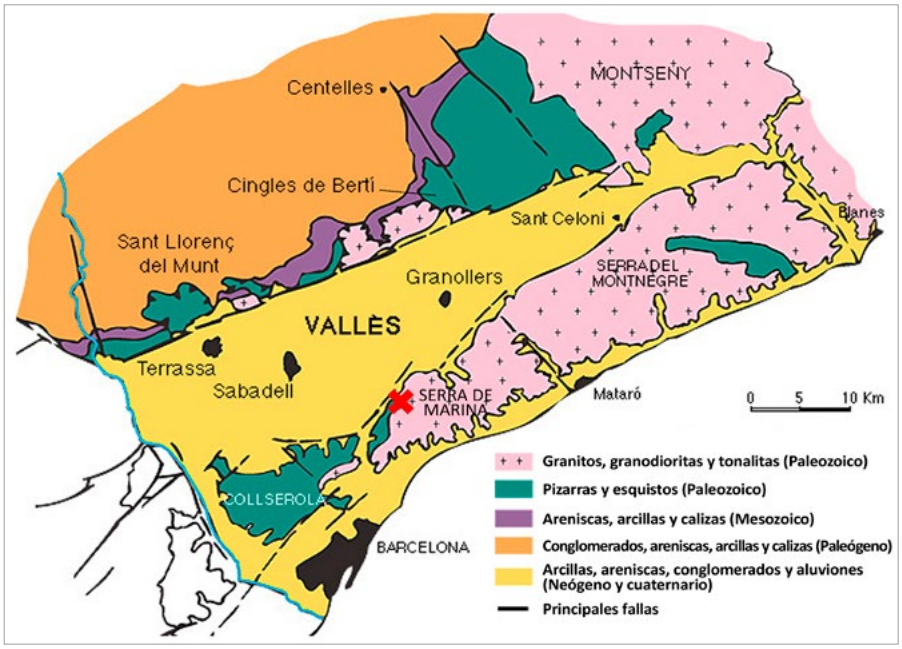
En el estudio de ejemplares más complejos o con resultados poco concluyentes se utilizaron varios equipos de los Centres Tecnològics i Científics de la Universitat de Barcelona (CCiTUB). Para la espectroscopía Raman se utilizó un espectrómetro dispersivo Jobin-Yvon LabRam HR800, acoplado a un microscopio óptico Olympus BXFM, con un detector CCD refrigerado a -70 °C y una rejilla de difracción de 600 líneas/mm.

Los equipos de microscopía electrónica de barrido (SEM-EDS) usados fueron: SEM FEI QUANTA 200 con un detector EDS Thermo Fischer UltraDry de 30 mm^2. Y otro de tipo 'field emission' (FE-SEM) JEOL J7100 con detector EDS Oxford Instruments X-act de 40 mm^2 y software de control AZtec-Live. El estudio cuantitativo de la mimetita y la surita requirió de la microsonda electrónica, un equipo JEOL JXA-8230 equipado con cinco espectrómetros WDS y uno EDS.

Algunos estudios previos composicionales se llevaron a cabo en los laboratorios de la empresa GEOMAR Enginyeria del Terreny, con un SEM-EDS Ambiental Phenom model G5 XL equipado con una fuente de hexaboruro de cerio (CeB_6). Estas medidas fueron realizadas utilizando el modo análisis de 15 kV de dicho equipo, con una corriente de flujo elevado y con un nivel de vacío bajo de 60 Pa.

Los estudios por difracción de rayos X (DRX) se llevaron a cabo en las instalaciones del GEO3BCN-CSIC, utilizando un difractómetro Bruker D8-A25, equipado con un tubo de Cu y un detector de tipo PSD (*position sensitive detector*, en inglés). En las mismas instalaciones se realizaron los análisis para la determinación de la arsenopirita utilizando un SEM-EDS, equipado con un microscopio electrónico de sobremesa Hitachi TM4000plus, equipado con un detector EDS Quantax75, con un área de detección de 30 mm^2.

En este trabajo se han aplicado numerosos procedimientos analíticos con la intención de establecer la creación de un fondo de conocimiento sobre el objeto de estudio, las canteras de Sant Fost de Campsentelles, dada la escasa información existente sobre este interesante depósito mineral. En la realización del estudio, todos los autores hemos sido espectadores y actores necesarios, y cada uno ha aportado su granito de arena dentro de su área de conocimiento y experiencia. Se ha intentado compartir, aprender y comprender, poniendo en valor tanto la necesidad del trabajo de campo, a veces amateur, como la labor más profesional y científica, todo ello con la finalidad de favorecer el avance de la cultura mineralógica de nuestro país.



Entorno geológico de la Depresión Prelitoral en el área del Vallés, con la situación de las canteras de Sant Fost de Campsentelles. Fuente: mapa modificado, web www.bdvcastell.wordpress.com.

SITUACIÓN GEOGRÁFICA Y CONTEXTO GEOLÓGICO

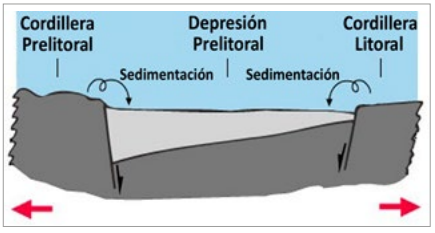
Las canteras de Sant Fost de Campsentelles se encuentran en la comarca del Vallès Oriental, provincia de Barcelona, Cataluña, en la formación montañosa denominada Cordillera Litoral, y más concretamente en la vertiente noroeste de la sierra de Marina.

Estas formaciones se hallan en el margen noroeste del Surco de Valencia, separando la fina corteza continental de este, de la gruesa corteza de la Península Ibérica (Cantarero, 2013). El conjunto de cordilleras (conocidas como Cordilleras Costeras Catalanas) y depresiones que forman el Sistema Mediterráneo Catalán constituye un escenario geológico excelente para estudiar la inversión tectónica de compresión a tectónica extensional y la interacción entre procesos que operan a diferentes escalas, como flexión litosférica, tectónica de fallas y procesos superficiales de erosión y sedimentación (Gaspar Escribano *et al.*, 2004).

Los materiales paleozoicos de la cuenca marina original se vieron sometidos durante la orogenia Hercínica a diversos movimientos compresivos, originando una cadena montañosa que emergió a la superficie. Consecuentemente con la formación montañosa se producen una serie de plegamientos en los que aparecen intrusiones de magmas ácidos que se enfrían antes de aflorar a la superficie, originando los granitoides (rocas ígneas) del batolito que actualmente son el objetivo de las explotaciones económicas de las canteras que los aprovechan como áridos (Triquell Salomé, 2012).

Durante el Cretácico tardío-Oligoceno temprano, la convergencia N-S entre las placas ibérica y europea produjo la subducción parcial de la placa ibérica debajo de la placa europea y la formación de los Pirineos, en la llamada orogenia Alpina. Este periodo caracterizado por fuerzas compresivas, dio lugar a la elevación de las cadenas catalanas en una orientación NE-SO con un cierto componente lateral izquierdo.

Posteriormente, en épocas más cercanas a la actual, durante el



Horsts y grabens en el Sistema Mediterráneo Catalán. Fuente: esquema modificado, web www.bdvcastell.wordpress.com

Panorámica, con orientación SO a NE, de la cantera de Can Rovira. Foto: Xavier Rodríguez.

primer período del Burdigaliense (Mioceno inferior), hace unos 20 millones de años, se produjo un nuevo período extensivo de la corteza que generó un adelgazamiento de la misma de un 30-35%, en proporciones parecidas a las mesozoicas. Estos períodos compresivos seguidos de otro distensivo generaron una estructura geológica de falla en la corteza de toda la zona, formada por horsts (elevaciones) y grabens (depresiones) que podemos observar en la actualidad. Los grabens de la parte central del Sistema Mediterráneo Catalán están representados por la depresión del Vallés-Penedés (que corresponde a la mayor parte de la Depresión Prelitoral) y el llano de Barcelona, mientras que los horsts están representados por las cordilleras Prelitoral y Litoral, formada esta última, entre otras, por el macizo del Garraf, la sierra de Collserola y la sierra de Marina (Gaspar Escribano *et al.*, 2004).

Los estudios realizados para la datación de las intrusiones hidrotermales de los filones de F-(Pb-Zn) de la cantera "Berta" las sitúa de finales del Pérmico a principios del Jurásico, en lo que se refiere al período principal de rellenado de estas grietas, las cuales se produjeron coincidiendo en el tiempo con el régimen extensional del Mesozoico. Este movimiento distensivo está relacionado con la apertura del mar de Tetis Occidental y del Atlántico Norte (Salas y Casas, 1993). En estos momentos geológicos la circulación de fluidos probablemente fue acelerada por el adelgazamiento de la corteza (Cardellach *et al.*, 2003).

Para concluir, y de acuerdo con la opinión general de los geólogos consultados, el origen geológico de los filones estudiados en Sant Fost es muy parecido al de las mineralizaciones del Sistema Mediterráneo Catalán, en concreto a las de L'Argentera (Canals y Ayora, 1988) y a las de la cantera "Berta" (Cardellach *et al.*, 2003). En el estudio mineralógico y geoquímico (inclusión de fluidos, isótopos estables y radiogénicos) del sistema de filones F-(Pb-Zn) de la "Berta" se identificó la fuente y la temperatura de los yacimientos de fluidos involucrados. El estudio demostró que la mineralización de la etapa principal de época jurásica, contemporánea del régimen distensional mesozoico, se basó en una mineralización de fluorita, sulfuros, calcita y barita, precipitados al mezclar fluidos polisalinos ricos en H_2S (hasta 23%, NaCl) con fluidos más diluidos, a temperatu-

Panorámica, con orientación NE a SO, de la cantera de Can Donadéu, desde la zona que separa ambas canteras. Foto: Xavier Rodríguez.

Filón 'rojo', encajado en las granodioritas, formado básicamente por cuarzo, fluorita, barita y calcita (el aspecto rojizo es debido a los óxidos de hierro). Foto: Josep Antoni Ignacio.

Filón 'blanco', con una formación similar al anterior (pero sin óxidos de hierro). Foto: Josep Antoni Ignacio.

Filón de sulfuros en Can Rovira. Foto: Xavier Rodríguez.

ras de entre 80 y 150 °C (Cardellach *et al.*, 2003). Estas mismas mineralizaciones son las que hemos encontrado en los diversos filones de las canteras de Sant Fost, sin poder concretar al detalle su estudio geoquímico, finalidad que queda claramente más allá de los objetivos del presente trabajo.

ZONAS EXTRACTIVAS DE LAS CANTERAS

Cantera de Can Rovira

Esta cantera se localiza en las cercanías de la actual Hípica Can Rovira. Está gestionada en la actualidad por la empresa Promotora Mediterránea-2 S.A. (PROMSA). Desde su origen en 1974, la actividad industrial consistió en la explotación de sablón. Aparece en el registro de explotaciones de actividades extractivas de la Generalitat de Catalunya con el nombre de "Can Rovira", núm. de expediente 84/0681, y consta también la ampliación "Ampli. Can Rovira 02 BAAD070164(ADQ)", núm. de expediente 84/0681-02 (Marigot, 2007). Actualmente se halla inactiva, pero con licencia extractiva en vigor.

Nos pusimos en contacto con la empresa concesionaria y esta nos comentó que la actividad en la extracción de áridos no está descartada definitivamente. Lo cierto es que hoy en día no existe en la cantera ninguna de las infraestructuras de antaño, incluida la pesadora, lo que dificultaría la nueva puesta en marcha en su actividad industrial extractiva. Por otro lado, la paralización de la actividad dejó un gran espacio en la base de la cantera en forma de vaso, donde en la actualidad precipitan aguas de filtración a través de las diversas brechas, fracturas o pequeñas fallas, visibles sobretodo en la pared norte. De esta manera se ha creado un gran lago artificial, siendo probable que sea el actual límite del nivel freático de la zona de la sierra donde se ubica esta cantera.

Cantera de Can Donadéu

Esta cantera, situada al SSO de la de Can Rovira, está explotada desde 1980 por Canteras Canro S.A. Los primeros trabajos se remontan a 1958, con expediente núm. 0774. Actualmente se halla activa y aparece en el registro de explotaciones de actividades extractivas de la Generalitat de Catalunya con el nombre de "Can Donadeu 02 BA20060050 ADQ", núm. de expediente 84/0664; también constan dos ampliaciones con el mismo nombre "Ampli. Can Donadeu 02 BA20060050 ADQ", con núms. de expediente 84/0664-01 y 84/0664-02. De la cantera se extrae "granito", según figura en los estudios consultados (Marigot, 2007).

Desde el punto de vista geológico, esta cantera presenta igualmente muchos filones verticales, en cuyas oquedades cristalizan calcitas, fluoritas y minerales secundarios de plomo y cobre, como en la de Can Rovira. En estos afloramientos han aparecido históricamente minerales como calcita, galena, mimetita y wulfenita, en oquedades del filón formado por barita y fluorita.

DESCRIPCIÓN DE ALGUNOS FILONES

Diseminados por la roca encajante (granodiorita) de ambas canteras encontramos diversos filones, con distintos aspectos, en los que predomina un mineral o varios sobre los demás.

Filón 'rojo'

Uno de los filones destaca sobre la granodiorita por tener un color rojizo, debido probablemente a los óxidos de hierro. Es un filón prácticamente vertical, que deno-

Filón de esfalerita encajado en la granodiorita. Foto: Josep Antoni Ignacio.

Filón formado por capas de cuarzo, barita y fluorita, según el orden de precipitación durante el relleno de la grieta. Foto: Xavier Rodríguez.

minamos filón 'rojo', formado por barita, calcita, cuarzo, fluorita y con indicios de galena y hematites, asociados a productos de la sericitización de los feldespatos.

En las zonas donde la galena ha sufrido procesos de oxidación, la alteración ha permitido combinaciones químicas de interés mineralógico, con la formación de cristales de cerusita, mimetita y wulfenita. Así mismo, dentro de este sulfuro alterado se encuentran pequeñas cavidades recubiertas de estéticos cristales transparentes romboédricos de calcita, algunos de ellos con inclusiones de goethita filiforme. En este filón hemos encontrado también dos de los minerales más interesantes de este trabajo: la mimetita cálcica y la surita, asociados ambos a zonas de galena alterada y en contacto con fluorita y calcita.

Filones 'blancos'

Aparecen en la cantera otros filones cuyos componentes principales son barita y calcita. En estos encontramos a menudo cristales milimétricos de calcita en 'cabeza de clavo' dentro de las pequeñas oquedades. También aparecieron en las primeras prospecciones de estos filones pequeñas geodas con cristales prismáticos hexagonales, que se habían identificado como mimetita, lo que nos alertó sobre la posible presencia de otros minerales formados por la alteración de la galena.

Otros filones de tonalidad blanca están constituidos casi exclusivamente por calcita espática. Esta calcita alberga numerosas cavidades donde cristaliza cuarzo y, sobre este, encontramos pequeños cristales milimétricos de pirita de hábito cúbico o cubooctaédrico, a veces maclados y formando agregados. En las cavidades de otros filones de calcita observamos el crecimiento de cristales centimétricos de este mineral en "cabeza de clavo".

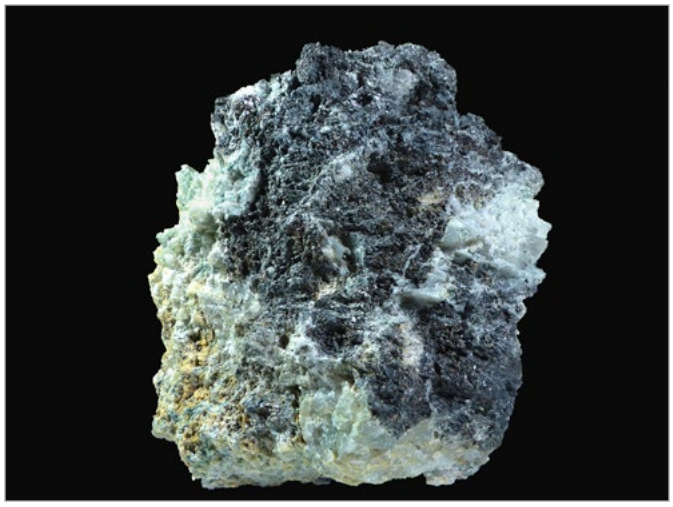
Filones de calcopirita, esfalerita y otros

Cabe destacar, en primer lugar, un filón casi vertical y de varios centímetros de potencia, formado esencialmente por barita, calcita y calcopirita. Se halla salpicado de numerosas manchas de tonos verdosos y azulados, principalmente en la zona de contacto con la roca encajante, sin duda producto de la alteración de minerales de cobre. La calcopirita masiva rellena los espacios intersticiales de la barita-calcita y se acompaña de un mineral verde de tacto suave, que recuerda al talco, y que está omnipresente en el filón. Probablemente se trate de un filosilicato de la familia de las arcillas.

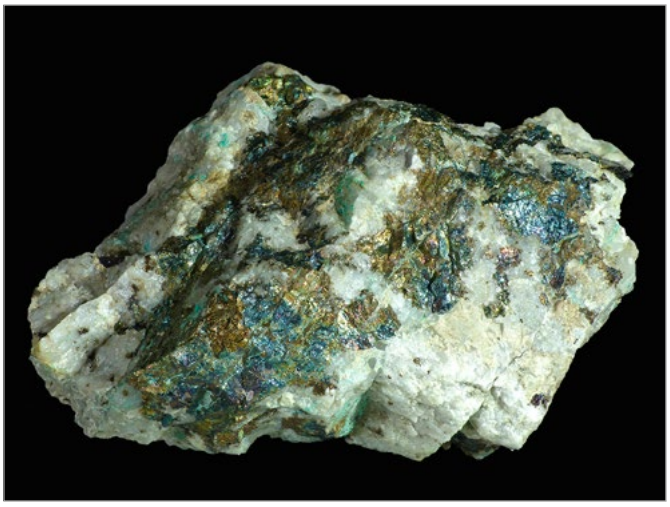
En las fisuras del filón encontramos cristales de calcita con predominio del romboedro, recubiertos de agregados de microcristales de un tono azulado a verdoso, cuyo análisis es coherente con la devillina. Sobre la calcopirita se han hallado pequeñas aureolas formadas por agregados globulares de cristales aciculares de eritrita, con un tono rosado.

Un segundo filón está formado mayoritariamente por esfalerita, cuarzo, calcita y barita, así como materiales silíceos, probablemente del grupo de las cloritas. En este filón la esfalerita se presenta de forma masiva, con una potencia de hasta quince centímetros. En algunas fisuras aparece el cuarzo infiltrándose en la esfalerita y en contacto con ella. La interacción geoquímica entre el catión Zn^{2+} y los minerales silíceos, en un medio oxidativo, debió provocar la formación de minerales como la willemita.

Un tercer filón, que nos llamó la atención, está formado por varios bandeados, bien diferenciados. El más externo, y en contacto con la roca encajante, está formado por cuarzo, con cristales de hasta 5



Esfalerita masiva con willemita (cristales amarillentos). Tamaño: 6,5 x 6 x 4 cm. Colección y foto: Xavier Rodríguez.



Calcopirita parcialmente irisada. Tamaño: 4 x 2,5 x 1,5 cm. Colección y foto: Xavier Rodríguez.

mm. Entre ambas capas de cuarzo aparecen dos capas adicionales, una de barita y otra de fluorita, ambas masivas. Esta disposición ilustra la secuencia en la que precipitaron los diferentes minerales.

Por último, comentar que estas canteras se encuentran en parte en el zócalo del batolito donde se produce el contacto entre la granodiorita y las lutitas grises afectadas por el metamorfismo. Así, en ciertos puntos de las canteras y con orientación NE-SO, podemos observar estas zonas de contacto y constatar la deformación y el plegamiento de los materiales metamórficos. Entre las lutitas se pueden apreciar pequeñas vetas de mineralizaciones de cuarzo y calcita.

MINERALES IDENTIFICADOS

Seguidamente exponemos las caracterizaciones de las especies halladas en las canteras de Sant Fost de Campsentelles, siguiendo un orden sistemático. Por ser a nuestro juicio la willemita la especie descubierta más interesante, es tratada aparte, con mayor detalle.

Sulfuros

Esfalerita, ZnS

En uno de los filones de sulfuros aparece esfalerita masiva de color gris a casi negro, brillo submetálico y, en algunas partes, también con coloración acaramelada. Cuarzo, barita y fluorita le sirven de separación de la roca encajante. Suele ir asociada a calcita y silicatos de la familia de las arcillas. Con aspecto masivo solo hemos encontrado un filón compartido por ambas canteras, de una potencia de centímetros, en el que se encontró la willemita.

Calcopirita, $CuFeS_2$

En el filón que contiene calcopirita masiva se han hallado cristales milimétricos de este mineral, eso sí, muy alterados. También se observan estéticas iridiscencias que recuerdan a la bornita y la covellita. Sin embargo, la difracción de rayos X no detecta la presencia de estas especies, ni de posibles miembros de los "cobres grises" (series tetraedrita-tennantita). Estas iridiscencias pueden ser debidas a múltiples causas, como la presencia de microestructuras cristalinas por alteración superficial, o por contacto con el mineral que las rodea, en este caso calcita y cuarzo.

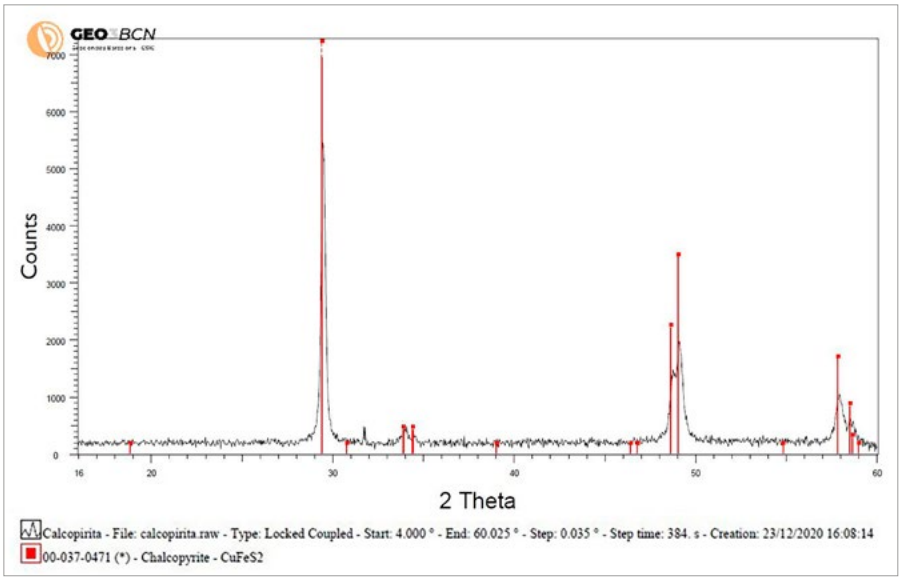
Galena, PbS

En casi todos los filones de estas canteras podemos encontrar, en mayor o menor medida, galena masiva. Habitualmente se presenta como cristales incluidos en una matriz de barita-calcita-fluorita. Se acompaña de minerales como cerusita, mimetita, surita y, en ocasiones, de pátinas verdosas no determinadas.

En algunos puntos forma vetas centimétricas mientras que en otros son solo indicios. Dentro de la calcita o la fluorita hemos encontrado cristales cúbicos de galena, algunos muy alterados.

En las dos canteras, la galena actúa como fuente de aporte de plomo, al ser un derivado primario de la cristalización de los fluidos hidrotermales que rellenaron las grietas en el batolito granodiorítico original. En estas zonas de oxidación, la galena libera azufre que, en combinación con iones H^+ provenientes del agua meteórica, genera un medio ácido idóneo para nuevas asociaciones químicas, lo que lleva a la aparición de otros compuestos, como arseniatos y molibdatos, a los que la galena aportó el catión Pb^{2+} necesario para su estabilidad. Una vez generados los diversos compuestos, estos fueron precipitando formando especies como mimetita y wulfenita.

Cuando se alteran los sulfuros, dejan unas texturas que son características de cada mineral; se conocen con el término *boxwork*. Esto fue estudiado en profundidad por Blanchard (1968) a lo largo de



Espectro DRX de una calcopirita de Can Rovira. Fuente: servicio DRX, GEO3BCN-CSIC.

una serie de trabajos recopilados en su libro *Interpretation of Leached Outcrops*.

En el caso de la galena, estas estructuras se caracterizan por adoptar una forma en malla de diamante y, menos frecuentemente, en malla cúbica. Los finos tabiques paralelos se mantienen porque se produjo una penetración de jaspe limonítico a lo largo de los planos de exfoliación de la galena durante la oxidación incipiente, antes de que los residuos de sulfuro se convirtieran en anglesita y cerusita. En estas canteras hemos encontrado, y citamos aquí como mera curiosidad, ejemplares con estas estructuras.

Pirita, FeS_2

Encontramos pirita en un filón de calcita espática en la zona noreste de Can Rovira. Dentro de la calcita hay pequeñas cavidades tapizadas de pequeños cristales de cuarzo salpicados por cristales submilimétricos de pirita, tanto cúbicos como cubooctaédricos.

En otras zonas de las canteras, colindantes con el filón anterior, podemos encontrar agregados alterados de pirita, confirmada por Raman, de color gris claro parecido a la arsenopirita. Son quebradizos y prácticamente se disgregan al menor contacto.

Arsenopirita, FeAsS

Este sulfuro de hierro y arsénico se ha encontrado en los filones superiores de las canteras. Se presenta como cristales aislados, asociado a calcita y en entornos con galena. Se determinó mediante SEM-EDS.

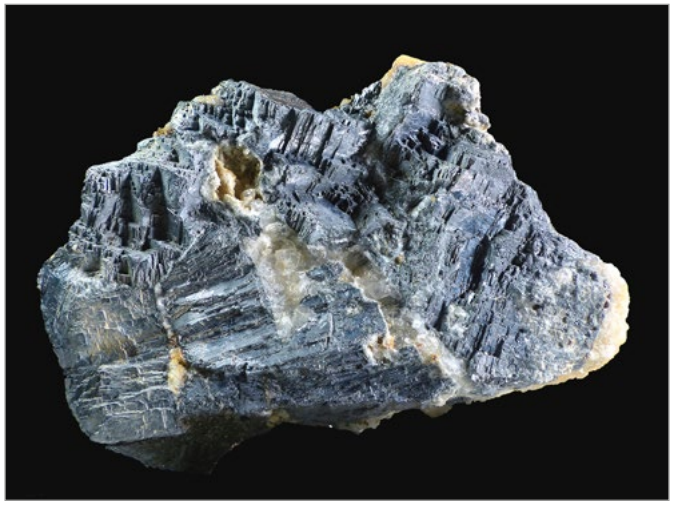
Halogenuros

Fluorita, CaF_2

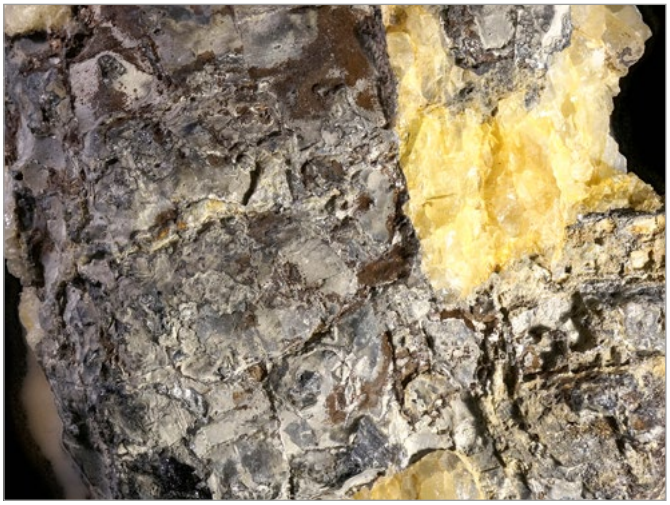
En la obra *Els minerals de Catalunya* (Tomàs, 1919-20) se describe la fluorita de Sant Fost: «al terme de Sant Fost de Capcentelles, prop de Can Donadeu, en un filó explotat per la baritina, es troba, amorfa també, blanca i verdosa, semitransparent i en petits cristalls amb galena, baritina, limonita i calissa, però en poca quantitat» [«en el término de Sant Fost de Campsentelles, cerca de Can Donadeu, en un filón explotado por la baritina, se encuentra, amorfa también, blanca y verdosa, semitransparente y en pequeños cristales con galena, baritina, limonita y caliza, pero en poca cantidad»].

La referencia anterior es una descripción de la fluorita del filón de la mina "Teresita", localizada al S-SO de la cantera de Can Donadéu, y es

Galena con caras de exfoliación.
Tamaño: 6,5 x 4,5 x 3,5 cm.
Colección y foto: Xavier Rodríguez.

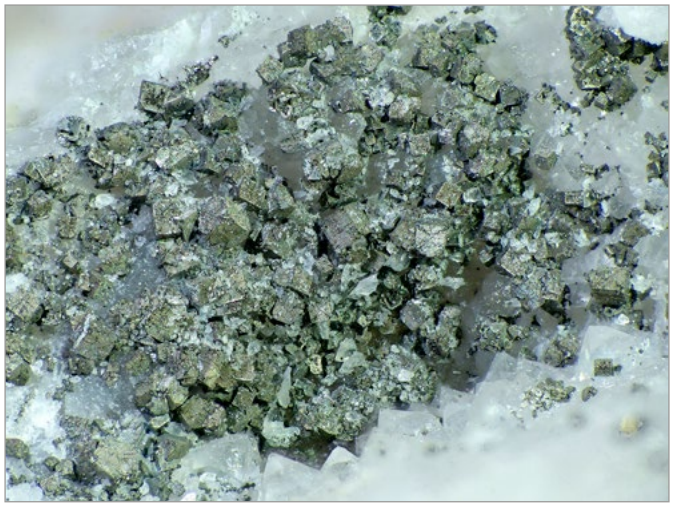


Texturas tipo *boxwork* en una galena, producto de su alteración en el gossan. C.V.: 2,5 cm.
Colección y foto: Josep Antoni Ignacio.



Galena en fluorita y calcita, recogida por J. Cendón y M. Moreno (hacia 2010). Tamaño: 7 x 5 x 4 cm. Colección: Aleydis Soliveras; foto: Josep Antoni Ignacio.

Superficie de una cara de exfoliación de galena que se ha empezado a alterar a cerusita. C.V.: 4 cm. Colección: Josep Antoni Ignacio; foto: Xavier Rodríguez.



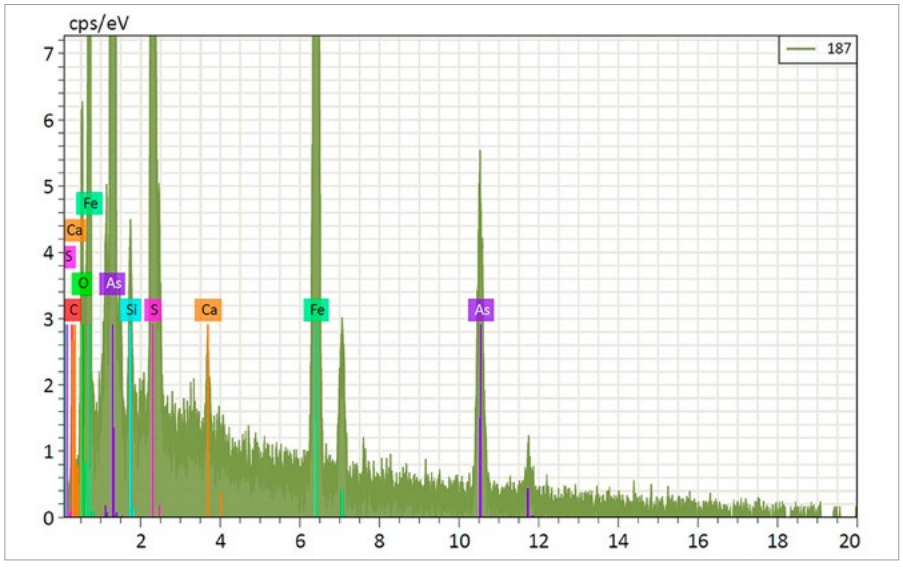
Pirita cúbica sobre cristales de cuarzo, en matriz de calcita. C.V.: 1,2 cm. Colección y foto: Xavier Rodríguez.

Agregado de cristales cúbicos y cubooctaédricos de pirita, sobre cuarzo y calcita. C.V.: 4,5 mm. Colección y foto: Josep Antoni Ignacio.

Agregado de cristales cúbicos y cubooctaédricos de pirita oxidada. C.V.: 5 mm. Colección y foto: Josep Antoni Ignacio.

Arsenopirita en calcita. C.V.: 1,2 cm. Colección: Jordi Ibáñez; foto: Joan Rosell.

Espectro EDS de una arsenopirita. Fuente: servicio DRX, GEO3BCN-CSIC.



aplicable a la fluorita que podemos encontrar hoy en día en los filones de las canteras estudiadas.

La fluorita masiva es abundante en los filones hidrotermales verticales de las dos canteras y con orientación NE-SO, mezclada con barita y calcita, aunque en ocasiones el filón es más rico en fluorita que en otros minerales. Si se da la circunstancia de existir alguna oquedad se produce entonces la cristalización de fluorita en forma cúbica. Los colores más comunes son el blanco, los tonos crema, el amarillo, el verde y el lila, a veces con zonaciones geométricas en las aristas. Los cristales cúbicos pueden presentarse aislados o en agregados, asociados a calcita, que a veces los recubre.

Fluorita sobre matriz de granodiorita. C.V.: 3,5 cm. Colección y foto: Josep Antoni Ignacio.

Fluorita cúbica con zonaciones en las aristas, acompañada de calcita. Medidas: 5 x 6 cm. Colección: Frederic Varela; foto: Xavier Rodríguez.

Se conocen piezas de fluorita formando cristales cúbicos bien definidos, provenientes de la cantera de Can Donadéu. La fluorita aparece tapizando el encajante, en presencia de calcita y barita, pudiéndose apreciar cristales de color violáceo de hasta cuatro centímetros de arista.

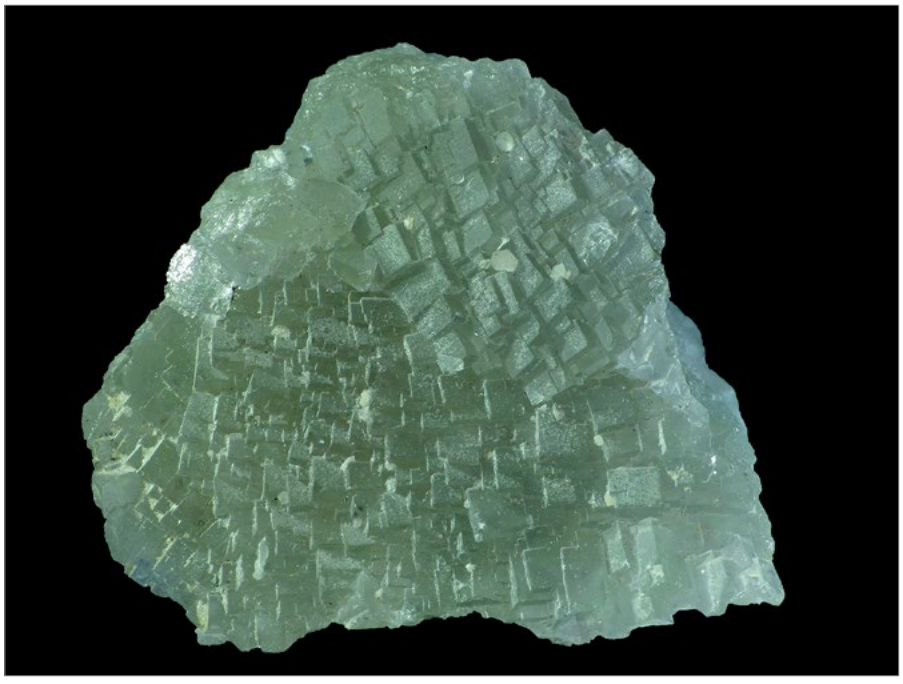
En los cristales de fluorita de tonos crema hemos constatado una intensa reacción fotoluminiscente, de color blanco azulada, a la exposición a la luz ultravioleta de onda corta. En cambio esta reacción no es tan intensa ante la exposición a onda larga.

Óxidos e hidróxidos

Cuarzo, SiO_2

El cuarzo acompaña con frecuencia a la barita y a la fluorita en los filones, así como a la calcopirita masiva. En algunas zonas concretas lo podemos encontrar bien cristalizado, en filones paralelos en la roca encajante.

Fluorita en pequeños cubos verdes. Tamaño: 4 x 3,5 x 2,5 cm. Colección y foto: Xavier Rodríguez.



Este mineral es bien visible en el filón del nivel 3 de la cantera de Can Rovira. En este filón podemos encontrar cristales de cuarzo de mayor tamaño, de hasta dos centímetros, de color blanco lechoso y dentro de la brecha. De hecho, el cuarzo y la calcita son los minerales más abundantes en los filones de la cantera, ya que aparecen en todos los casos estudiados. Asimismo, ambos aparecen en forma de cristales submilimétricos tapizando pequeñas oquedades en el filón de calcita espática o incluso en la barita.

En el filón de esfalerita que hemos comentado anteriormente, el cuarzo aparece interpuesto aportando el silicio necesario para la aparición de minerales secundarios como la willemita y silicatos de la familia de las arcillas.

Óxidos de manganeso

Se presentan en vistosos agregados dendríticos en ambas canteras, sobre la granodiorita, de un tamaño de entre 4 y 8 centímetros También se pueden encontrar en masas compactas negras recubriendo cristales de calcita y cuarzo.

Goethita, $Fe^{3+}O(OH)$

Encontramos la goethita formando retículas que recubren parcialmente cristales de calcita romboédrica, como por ejemplo en el filón 'rojo' de Can Rovira. Sobre

Fluorita cúbica, de color lila, acompañada de calcita. Tamaño: 7,5 x 6,5 x 3,5 cm. Colección y foto: Xavier Rodríguez.

Fluorita cúbica sobre calcita, recogida por J. Cendón y M. Moreno (hacia 2010). Tamaño: 7 x 5 x 4 cm. Colección: Aleydis Oliveras; foto: Josep Antoni Ignacio.

algunas de estas retículas han crecido más cristales de calcita romboédrica, dando al conjunto un aspecto muy estético. La goethita también se encontró tapizando los cristales de calcita de gran tamaño en la geoda 'Sanse', aportando una estética pátina irisada o un color amarillento a rojizo.

Carbonatos

Calcita, $Ca(CO_3)$

Es muy abundante en ambas canteras, formando parte de casi todos los filones, con aspecto masivo. En forma cristalizada, se presenta tapizando pequeñas cavidades con cristales transparentes milimétricos de hábito romboédrico, algunos aéreos y atrapados en retículas de goethita, como hemos comentado anteriormente.

En el filón de calcopirita de Can Rovira han aparecido cristales, a menudo ricos en caras, con predominio del romboedro, parcialmente recubiertos de devillina. En el mismo filón y en el filón 'blanco' de la misma cantera hemos podido encontrar cristales milimétricos de calcita en 'cabeza de clavo'.

Grandes cristales de tamaño centimétrico han aparecido en algunos filones de calcita encajados en la granodiorita. En una visita del año 2015 se encontró la geoda que hemos denominado 'Sanse': una serie de cavidades dentro de un filón vertical de calcita; de la que se recogieron unos ejemplares muy bien cristalizados. Las formas cristalinas recordaban a los de la mina "La Cuerre", en la zona minera de La Florida (Cantabria). A menudo muy ricos en caras, con facetas de romboedros, prismas y escalenoedros, en combinaciones diversas. Estos cristales presentan coloraciones que varían entre el blanco y el anaranjado. Este color anaranjado se debe probablemente a una pátina de óxidos-hidróxidos de hierro.

Posteriormente, en marzo del 2018, se encontró otra geoda, que llamamos 'Sanse II', en el mismo filón de calcita pero en un nivel superior de las canteras, de la que se obtuvieron cristales de gran tamaño en 'cabeza de clavo', pero aquí de color blanco, algunos recubiertos con costras cristalinas de óxidos de manganeso.

En las últimas exploraciones realizadas, donde se descubrió el filón de esfalerita encontramos cristales más o menos lenticulares

Fluorita a luz visible (izquierda) y fluorescente blanco azulada bajo luz UV de onda corta (a 254 nm) (derecha), recogida por J. Cendón y M. Moreno (hacia 2010). Tamaño: 7 x 4 x 4 cm. Colección y foto: Josep Antoni Ignacio.

Cristales de cuarzo. Tamaño: 5 x 6 x 5 cm. Colección y foto: Xavier Rodríguez.

Cuarzo (var. cuarzo lechoso) sobre matriz de granodiorita. Tamaño: 15 x 8 x 4,5 cm. Colección y foto: Josep Antoni Ignacio.

Dendritas de óxidos de manganeso formadas en fisuras de la granodiorita. Tamaño: 10,5 x 6 x 3 cm. Colección y foto: Xavier Rodríguez.

Cristales de calcita romboédrica con filamentos de goethita, del filón 'rojo'. C.V.: 1,1 cm. Colección y foto: Josep Antoni Ignacio.

Cristales y agregados de calcita recubiertos de goethita con diversas coloraciones, y con zonas de goethita filamentosa, del filón 'rojo'. C.V.: 1,1 cm. Colección y foto: Xavier Rodríguez.

Cristales de calcita, ricos en caras, de la geoda 'Sanse'. Medidas: 13 x 6 cm. Colección y foto: Emilio Téllez.

Cristales de calcita, con predomino del romboedro, de la geoda 'Sanse'. Tamaño: 5 x 4 x 2 cm. Colección y foto: Josep Antoni Ignacio.

Cristales de calcita, ricos en caras, de la geoda 'Sanse'. Tamaño: 13 x 8,5 x 6 cm. Colección y foto: Xavier Rodríguez.

Cristal romboédrico pseudocúbico de calcita, encajado en otros cristales de calcita, del filón 'rojo'. C.V.: 1,7 cm. Colección y foto: Josep Antoni Ignacio.

Agregado de cristales romboédricos pseudocúbicos de calcita. C.V.: 8 mm. Colección y foto: Xavier Rodríguez.

Agregado de cristales lenticulares de calcita, del filón de esfalerita, con cristales de willemita (incoloros a amarillentos) en las fisuras de contacto. C.V.: 4 mm. Colección y foto: Xavier Rodríguez.

Cristales de calcita en 'cabeza de clavo', por la combinación de prismas y romboedros obtusos. C.V.: 1,2 cm. Colección y foto: Xavier Rodríguez.

Cristales de calcita en ‘cabeza de clavo’, de la geoda ‘Sanse II’. Tamaño: 5 x 5 x 5 cm. Colección y foto: Xavier Rodríguez.

Cristales de calcita, ricos en caras, parcialmente recubiertos de óxidos, de la geoda ‘Sanse’. Tamaño: 6 x 4,5 x 4 cm. Colección y foto: Josep Antoni Ignacio.

Calcita de la geoda 'Sanse II' con luz UV de onda larga (a 380 nm) cenital, mostrando fluorescencia rosada. Tamaño: 8 x 5 x 3 cm. Colección y foto: Josep Antoni Ignacio.

Calcita de la geoda 'Sanse II' con luz UV de onda corta (a 254 nm) frontal, mostrando una intensa fluorescencia roja en la base donde crecen los cristales. Tamaño: 8 x 5 x 3 cm. Colección y foto: Josep Antoni Ignacio.

de calcita asociados a willemita.

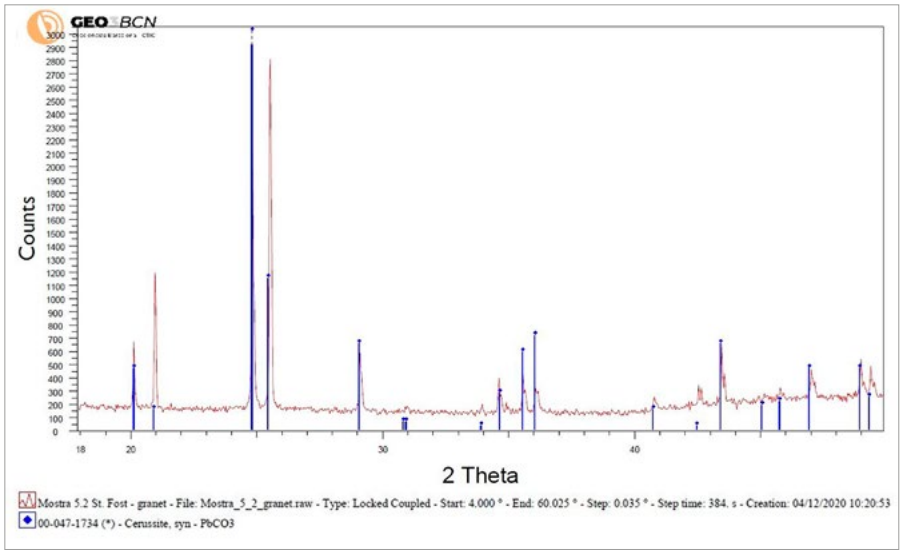
Todos los cristales de calcita sin pátina estudiados, así como las zonas de fractura fresca, presentan una intensa coloración roja a la presencia de luz ultravioleta de onda corta a 254 nm, y de menor intensidad, rosada, a la onda larga a 380 nm. Esta intensa fluorescencia en onda corta podría deberse al Mn^{2+}, que actúa como activador de la fluorescencia roja, pudiendo tener como coactivadores el Pb^{2+} y posiblemente el Ce^{3+}, según un estudio que se publicará próximamente (Adolf Cortel, artículo en preparación). No ocurre así con las calcitas romboédricas de la 'Sanse', ni con aquellas que presentan pátina de óxidos-hidróxidos de hierro.

Vista *in situ* de cerusitas en macla múltiple sobre calcita romboédrica (teñida por óxidos de hierro), del filón 'rojo', tapizando la matriz granodiorítica. C.V.: 10 cm. Foto: Josep Antoni Ignacio.

Cerusita, $Pb(CO_3)$

En los filones de barita y fluorita, con galena alterada, de las dos canteras, aparecen habitualmente cristales milimétricos de cerusita.

Este mineral, producto secundario de la galena, aparece como cristales incoloros, blancos, anaranjados, melados, rojos o grises, dentro de las pequeñas oquedades de fluorita y calcita, siempre en presencia de galena en diversas fases de alteración oxidativa. Presenta prismas, combinados con la bipirámide ortorrómbica y con pinacoides, de hábito tabular a pris-



Espectro DRX de una de las cerusitas de color anaranjado, que tantos problemas de identificación nos han dado, por su gran fluorescencia amarilla. Fuente: servicio DRX, GEO3BCN-CSIC.

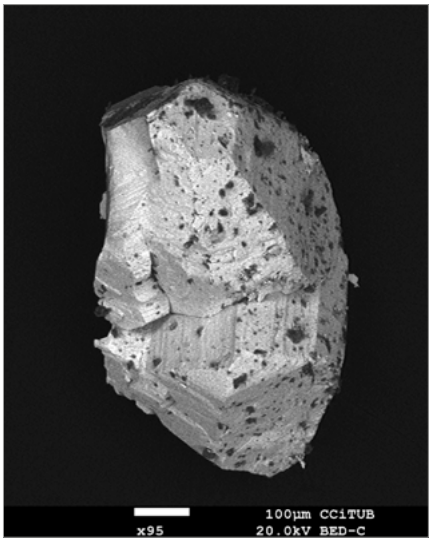
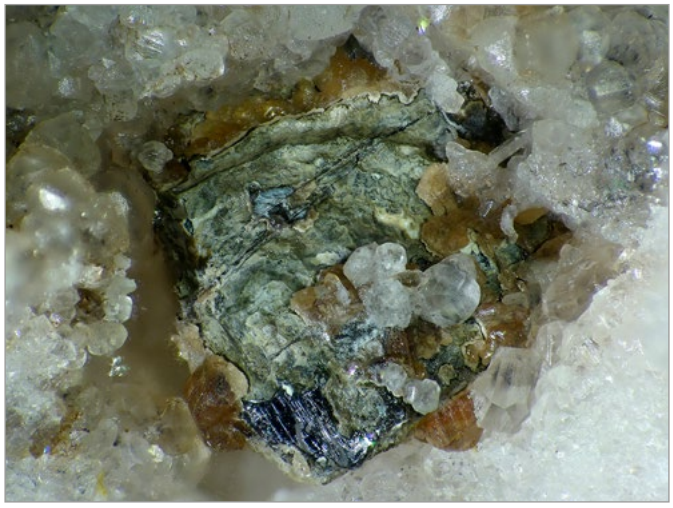


Imagen SEM de un cristal de cerusita, de las de color anaranjado. Foto: Adolf Cortel.

Cristales de cerusita sobre calcita. C.V.: 4 mm. Colección y foto: Xavier Rodríguez.

Cerusita prismática sobre calcita. C.V.: 3 mm. Colección y foto: Josep Antoni Ignacio.

Pequeña cavidad dentro de calcita, con un cubo de galena sobre el que, por alteración, se han desarrollado cristales de cerusita de tonos melados. C.V.: 1,2 cm. Colección y foto: Xavier Rodríguez.



Cristales de cerusita de color ligeramente amarillento, sobre otros de cerusita grisácea, en galena alterada y con calcita. C.V.: 1,3 cm. Colección y foto: Josep Antoni Ignacio.

Cristal tabular de cerusita del filón 'rojo', teñido por óxidos de hierro. C.V.: 9 mm. Colección y foto: Josep Antoni Ignacio.

Cristales de cerusita, tapizando una cavidad con calcita y fluorita, en contacto con galena. C.V.: 3,5 cm. Colección y foto: Josep Antoni Ignacio.

mático, a veces con aspecto pseudohexagonal. Pueden encontrarse como cristales aislados o formando maclas, a menudo múltiples (cíclicas), con dos o tres cristales cuyos ejes forman entre si ángulos cercanos a los 60 grados.

En el filón 'rojo' hemos encontrado cristales de tamaño incluso centimétrico, la mayoría perfectamente formados, sobre base de calcita romboédrica de tamaño milimétrico, teñida de óxidos de hierro. Lamentablemente, todos estos cristales se perdieron durante el transporte, debido a su fragilidad, en un desgraciado accidente con las muestras recogidas.

Ciertos cristales de color anaranjado fueron analizados mediante espectroscopia Raman, dando lugar a un espectro no concluyente, ya que las muestras presentaban un alto grado de fluorescencia. Consecuentemente, se procedió a realizar análisis de SEM-EDS, con resultados que tampoco fueron concluyentes, dada la presencia de otros minerales colindantes que interfirieron las mediciones. Finalmente, recurrimos al análisis mediante DRX, que permitió identificar las muestras como cerusitas, con un peculiar color anaranjado. También se han encontrado cerusitas así en otras canteras geológicamente similares a las de Sant Fost, como la "Berta" (El Papiol-Sant Cugat del Vallès). La conclusión es que se trata de carbonato de plomo con algún tipo de impureza que les otorga ese llamativo color y que les confiere una intensa fluorescencia durante las mediciones de Raman.

Aparecieron también numerosos cristales de cerusita de hábito prismático lanceolado, de color blanco cremoso, acompañados de galena y fluorita.

Bajo la luz ultravioleta, tanto de onda larga como de onda corta, todas las cerusitas con coloraciones meladas y rojizas presentan fluo-

Cristales prismáticos maclados de cerusita, en ángulo de casi 60 grados. C.V.: 8 mm. Colección y foto: Xavier Rodríguez.

Cristal prismático pseudohexagonal de cerusita, acompañado de cristales blanquecinos de mimetita cálcica. C.V.: 8 mm. Colección y foto: Xavier Rodríguez.

Cerusita de hábito prismático, con esfalerita y en matriz granodiorítica. C.V.: 12 mm. Colección y foto: Josep Antoni Ignacio.

Agregado cristalino de cerusita, que incluye una macla múltiple (cíclica), con ángulos internos de casi 60 grados. C.V.: 8 mm. Colección y foto: Xavier Rodríguez.

Macla múltiple (cíclica) de cerusita, con cristales de fluorita lila superpuestos. Medidas: 1,5 x 1,3 mm. Colección y foto: Josep Antoni Ignacio.

Macla múltiple de cerusita. Medidas: 3 x 2 mm. Colección y foto: Josep Antoni Ignacio.

Cristales de cerusita en disposición caótica, del filón 'rojo', sobre materiales alterados procedentes de la granodiorita, con calcita. C.V.: 2 cm. Colección y foto: Josep Antoni Ignacio.

Agregado de cristales de cerusita en disposición más o menos divergente. C.V.: 8 mm. Colección: Josep Antoni Ignacio; foto: Xavier Rodríguez.

rescencia intensa de color amarillo limón en onda larga, no respondiendo igual en onda corta, como sería de esperar. Las cerusitas de color negro presentan fluorescencia amarilla solo en los extremos en los que desaparecen las impurezas que le dan ese color.

A principios de 2020 se encontraron en Can Rovira diversos ejemplares de cerusita poco habituales. Presentaban un prisma muy alargado sobre una matriz de color amarillento y de apariencia pulverulenta, y acompañada de calcita romboédrica. En un principio, por su aspecto, se pensó que podían ser cristales de yeso. La fluorescencia de los cristales nos hizo dudar de su naturaleza y plantearnos la posibilidad de que fuese otra especie. En el análisis DRX pudimos descartar esta hipótesis, determinando el ejemplar como cerusita. Se confirmó entonces que en realidad se trataba de un tipo de agregado poco común en la cerusita de esta cantera, conocido con el término inglés *jackstraw*, que consiste en grupos de cristales prismáticos muy alargados y orientados aleatoriamente.

Azurita, $Cu_3(CO_3)_2(OH)_2$

Se presenta en pequeños cristales milimétricos implantados entre los cristales de calcita, y también con aspecto masivo, en el filón de calcopirita, como resultado de la meteorización de esta.

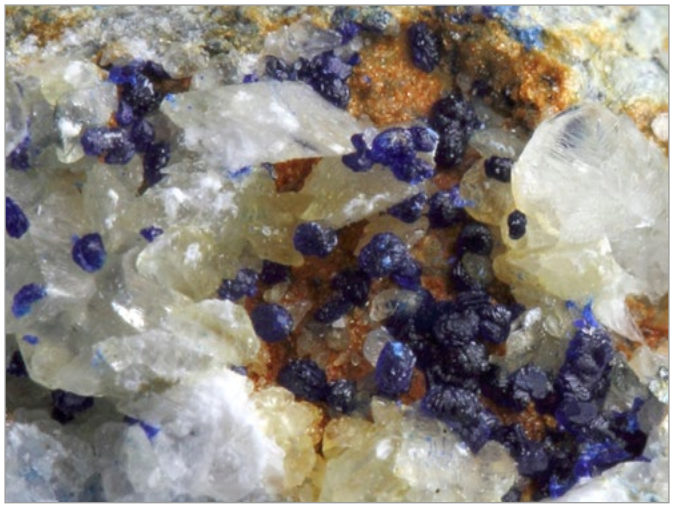
Malaquita, $Cu_2(CO_3)(OH)_2$

Igual que la azurita, la malaquita aparece como producto secundario de la alteración de los minerales, ricos en cobre, de los filones. Suele aparecer en haces de fibras radiales y también masiva o en costras sobre cuarzo o barita, en los filones de calcopirita.

Sulfatos y molibdatos

Barita, $Ba(SO_4)$

La barita es un mineral frecuen-



Cristales de azurita sobre cristales de calcita. C.V.: 1,2 cm. Colección y foto: Jordi Carbonell.

Malaquita parcialmente fibrosa, del filón de calcopirita. C.V.: 4 cm. Colección: Emilio Téllez; foto: Josep Antoni Ignacio.

te en casi todos los filones de estas canteras, incluso algunos con potencia de varios centímetros, en la granodiorita encajante. Se presenta casi siempre en forma masiva y suele asociarse a galena y fluorita. Pequeños cristales de barita, incoloros y con hábito tabular, se han encontrado en cavidades de la misma barita o de calcita, acompañando a otros minerales de la paragénesis de los filones.

Hace algunos años se encontraron cristales de barita de tamaño centimétrico, en un filón de la cantera de Can Donadéu y en la mina "Teresita". Hoy en día es difícil, por no decir imposible, hallar ejemplares como esos, y lo normal es encontrar cristales milimétricos.

Respecto a la fluorescencia con onda corta, los cristales del antiguo filón de Can Donadéu presentan una intensa fluorescencia roja, mientras que la barita más habitual que hoy día encontramos en ambas canteras, con cristales más pequeños, suelen presentar fluorescencia amarilla intensa.

Brochantita, $Cu_4(SO_4)(OH)_6$

Se ha confirmado la presencia de esta especie mediante análisis de DRX. Aparece en los filones ricos en calcopirita, siempre asociada a otros sulfatos y carbonatos. Muy probablemente se origina como producto de la alteración de los sulfuros primarios por parte de aguas meteóricas infiltradas entre las grietas de los filones.

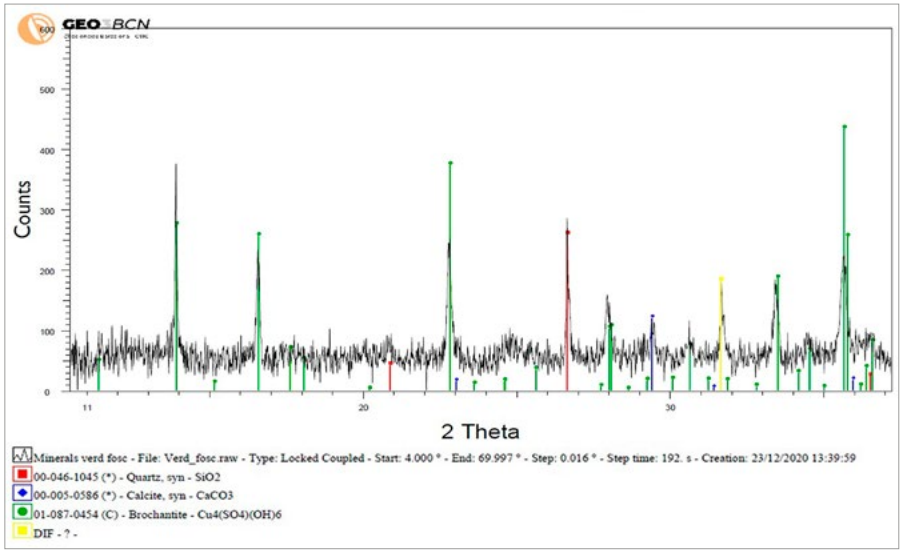
Posnjakita, $Cu_4(SO_4)(OH)_6 \cdot H_2O$

En el filón de calcopirita encontramos unas costras, entre azul

Ejemplar de barita de la cantera de Can Rovira (recogido hacia 1998), en luz visible (izquierda) y mostrando fluorescencia con luz UV de onda corta (a 254 nm) (derecha). Colección: Aleydis Oliveras; foto: Josep Antoni Ignacio.

Cristales prismáticos de barita, sobre calcita y fluorita masivas. C.V.: 1,1 cm. Colección y foto: Josep Antoni Ignacio.

Agregado de cristales tabulares (de bordes biselados) a prismáticos de barita. C.V.: 1,1 cm. Colección y foto: Josep Antoni Ignacio.



Espectro DRX de una muestra de agregados de cristales de color verde, que han correspondido a brochantita, con cuarzo y calcita. Fuente: servicio DRX, GEO3BCN-CSIC.

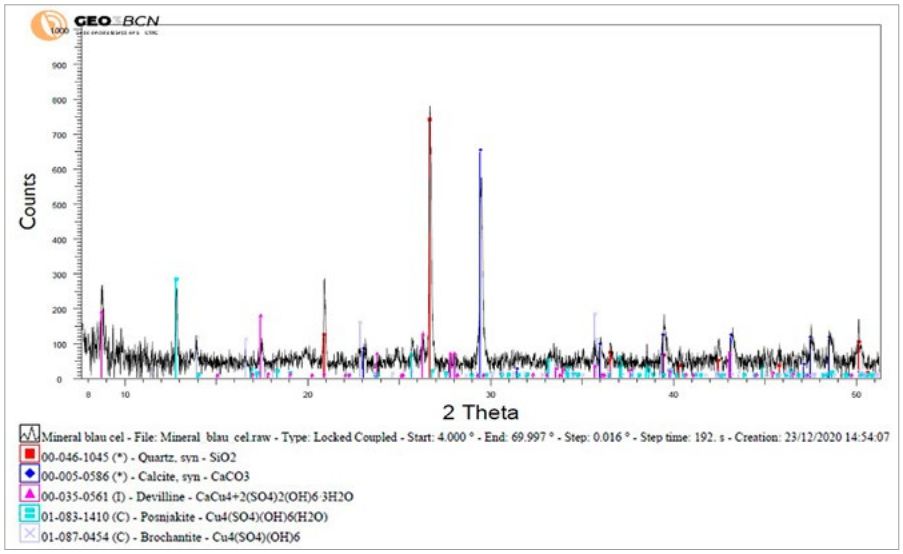
claro y azul verdoso, que tapizaban zonas alteradas. El análisis de estas muestras mediante Raman presentó una posible coincidencia con woodwardita, langita o posnjakita, todos ellos sulfatos de cobre muy similares. El posterior análisis mediante DRX nos permitió dilucidar que se trataba de una mezcla de tres especies: devillina, brochantita y posnjakita, lo que podía explicar las variaciones en el color.

Devillina, $CaCu_4(SO_4)_2(OH)_6 \cdot 3H_2O$

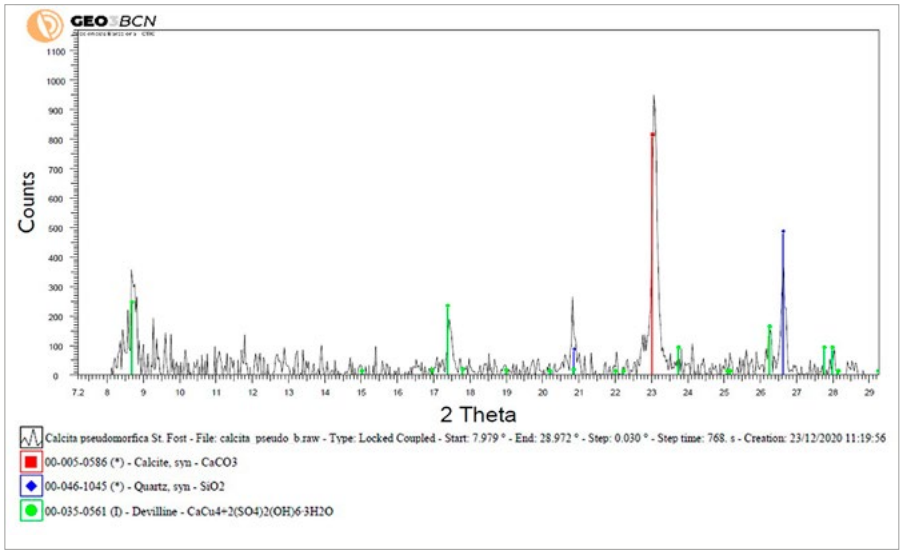
La devillina es un sulfato hidratado de cobre que ha aparecido en los filones de sulfuros. Recubre parcialmente los cristales de calcita ricos en caras con predominio

Brochantita parcialmente recubierta por cristales de yeso, que le dan un brillo más intenso. C.V.: 1,5 cm. Colección y foto: Xavier Rodríguez.

Posnjakita sobre calcita. C.V.: 1 cm. Colección y foto: Xavier Rodríguez.



Espectro DRX de una muestra del filón de calcopirita, con devillina, brochantita y posnjakita. Fuente: servicio DRX, GEO3BCN-CSIC.



Espectro DRX de devillina y calcita, con cuarzo. Fuente: servicio DRX, GEO3BCN-CSIC.

romboédrico, a modo de finísimas costras. Como la brochantita, también es producto de la alteración de los minerales primarios del filón ricos en cobre y calcio.

Yeso, $Ca(SO_4)\cdot 2H_2O$

Aparece en forma de pequeños cristales aciculares originados en una zona de granodioritas alteradas, cerca del filón con pirita alterada y también en el filón de calcopirita.

Wulfenita, $Pb(MoO_4)$

La wulfenita es un molibdato cuya presencia suele ser escasa en los yacimientos de plomo, formándose en las zonas de alteración hidrotermal. Cristaliza en el sistema tetragonal y forma serie con la stolzita. Ha sido confirmada su presencia en las dos canteras, mediante análisis espectrométricos de SEM-EDS y por DRX.

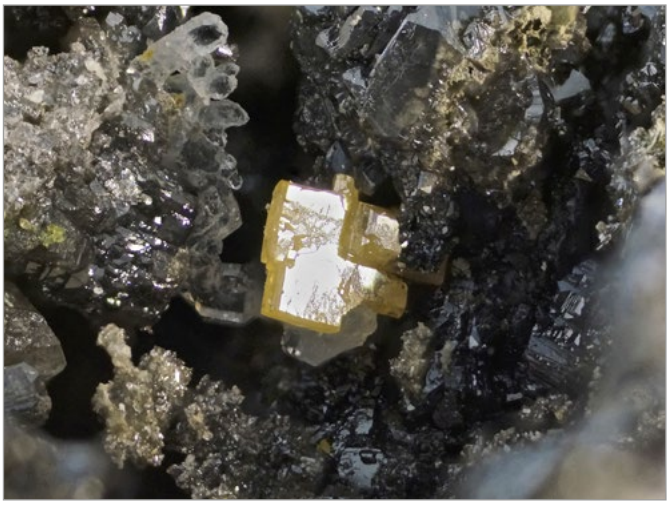
En Cataluña aparece citada en la localidades siguientes:

- Barcelona: Horta, Barcelona (Pardillo, 1924); mina "Teresita", Sant Fost de Campsentelles (Álvarez Pérez y Montoriol, 1979); Sant Pere Màrtir, Barcelona (Pérez y Rosell, 1991); cantera "Berta", El Papiol-Sant Cugat V. (Bareche, 1994); mina "Gato", Tagamanent (Vilallonga y Varela, 2018).
- Girona: mina "Pepito", Montras (Calvo, 2015); minas d'en

Cristal de calcita (combinación de romboedro y prisma) recubierto por devillina, del filón de calcopirita. C.V.: 8,5 mm. Colección y foto: Josep Antoni Ignacio.

Cristales de calcita (combinación de romboedro y prisma), parcialmente recubiertos de devillina. C.V.: 6,5 mm. Colección y foto: Josep Antoni Ignacio.

Cristales prismáticos de wulfenita, sobre galena. C.V.: 5,5 mm. Colección y foto: Josep Antoni Ignacio.



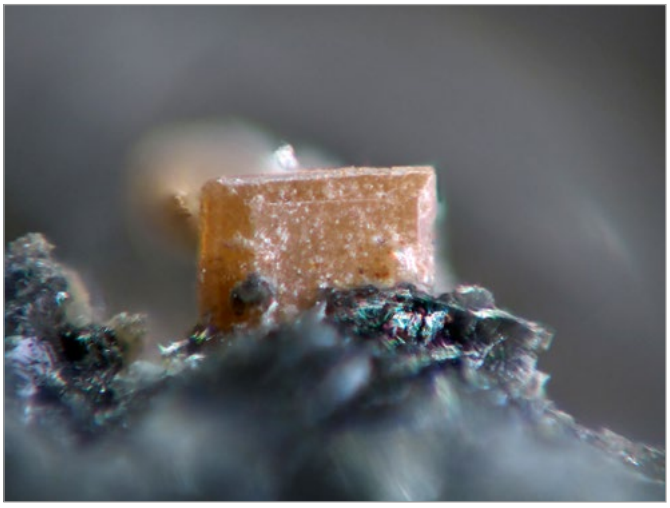
Wulfenita prismática con calcita y cerusita. C.V.: 3,5 mm. Colección y foto: Josep Antoni Ignacio.

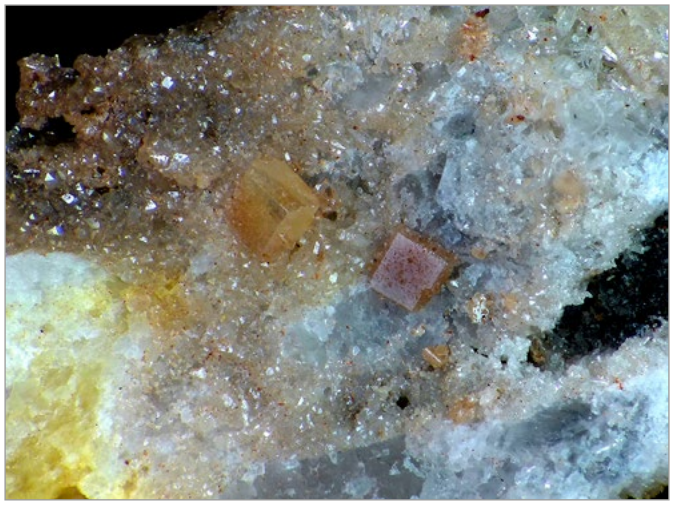
Cristales tabulares de wulfenita junto con diminutos cristales de mimetita. C.V.: 3 mm. Colección y foto: Xavier Rodríguez.

Cristales prismáticos a tabulares de wulfenita, rodeados de cristales de mimetita. C.V.: 3,5 mm. Colección y foto: Xavier Rodríguez.

Agregado de cristales tabulares de wulfenita, con bordes biselados (combinación de pinacoide con bipirámides). Medidas: 3 x 3 mm. Colección y foto: Josep Antoni Ignacio.

Cristal tabular de wulfenita, con bordes biselados (combinación de pinacoide con bipirámides). C.V.: 2,5 mm. Colección y foto: Xavier Rodríguez.





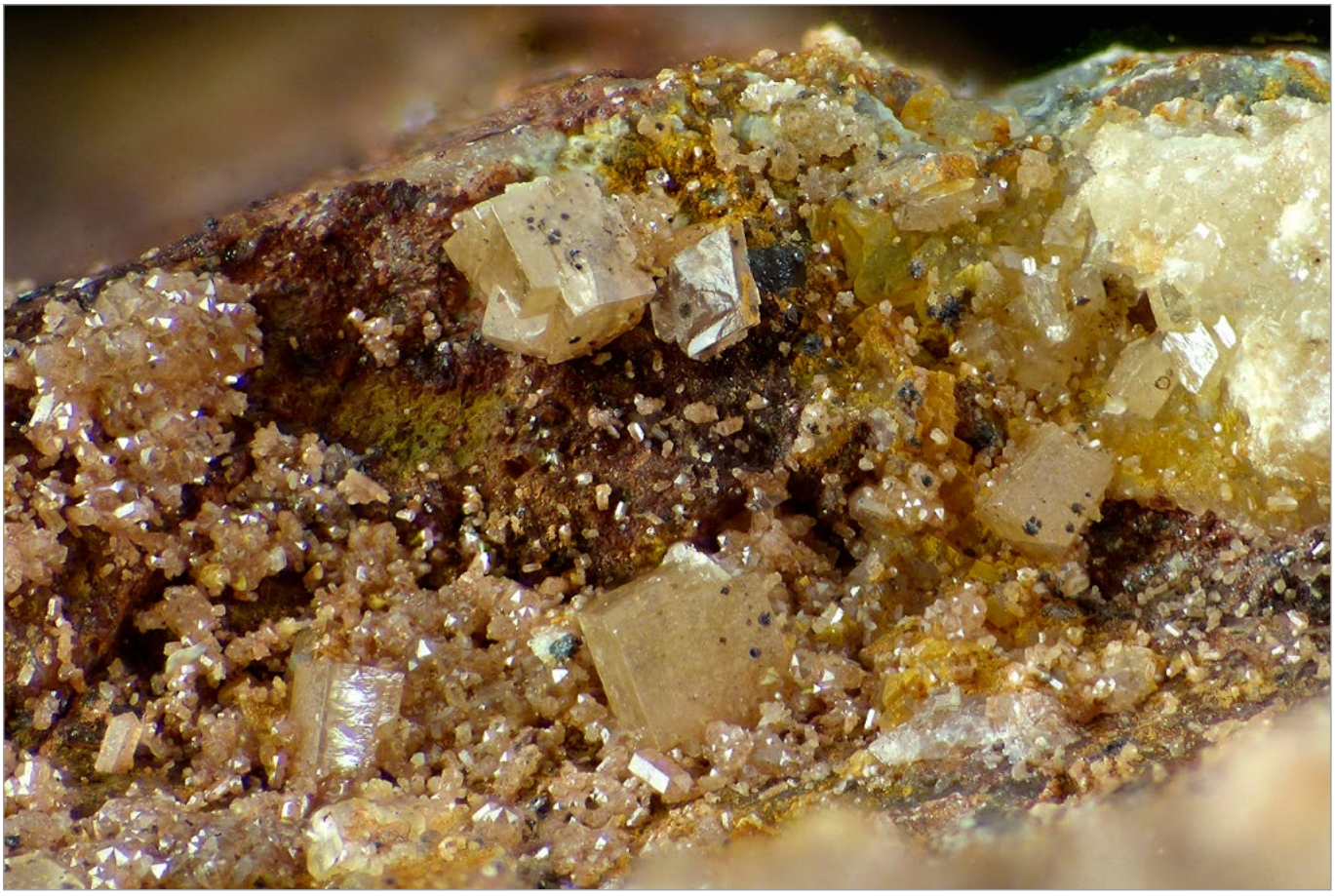
Cristales tabulares gruesos de wulfenita, junto con diminutos cristales de mimetita. C.V.: 3 mm. Colección y foto: Xavier Rodríguez.

Wulfenita de hábito tabular grueso sobre mimetita, tapizando una cavidad formada por calcita y fluorita. C.V.: 3,5 mm. Colección y foto: Josep Antoni Ignacio.

Torrent, Palafrugell (Calvo, 2015); minas de Can Magre, Vidreres (Rodríguez *et al.*, 2016).
- Lleida: minas de Cierco, Vilaller (Johnson *et al.*, 1996).
- Tarragona: mina "Atrevida", Vimbodí i Poblet (Bareche, 2006); minas del Mas del Bessó, Ulldemolins (Calvo, 2015); Mas de l'Anglès, Vallclara (Calvo, 2015); mina Alforja, Alforja (Abella, 2018); mina "Iris 18", Riudecanyes (Vinyoles *et al.*, 2019).

En las canteras de Sant Fost se han encontrado ejemplares de wulfenita como mineral secundario producto de la oxidación del

Cristales prismáticos a tabulares de wulfenita, acompañados de pequeños cristales de mimetita. C.V.: 3,5 mm. Colección y foto: Xavier Rodríguez.



Cristal de wulfenita con predominio piramidal, sobre calcita. C.V.: 3,5 mm. Colección y foto: Xavier Rodríguez.

Wulfenita de Can Rovira, con decenas de cristales bipiramidales, sobre galena muy alterada, recogida por M. Moreno (hacia 2005). C.V.: 6 mm. Colección y foto: Josep Antoni Ignacio.

plomo proveniente de la galena, en el filón 'rojo' descrito de Can Rovira. Se encuentra asociada a otros minerales secundarios de plomo, como cerusita y mimetita, sobre la que suelen crecer los cristales, siempre en las pequeñas oquedades dentro de la fluorita masiva, que se acompaña de calcita y barita, con galena que aparece muy alterada.

En el filón 'blanco' del nivel 3 de la cantera de Can Rovira encontramos ocasionalmente wulfenita encima de cristales de cuarzo que cubren los espacios cúbicos que ha dejado la disolución de la fluorita primaria, siempre encima de calcita y con galena.

La gran mayoría de cristales de wulfenita encontrados son prismáticos a tabulares. Estos últimos a menudo con bordes biselados (por la combinación del pinacoide con

Curioso cristal de wulfenita (combinación de bipirámides y pinacoide), con fluorita. Medidas: 4 x 2 mm. Colección y foto: Josep Antoni Ignacio.

Wulfenita en varios colores, sobre galena alterada y calcita. C.V.: 4 mm. Colección y foto: Josep Antoni Ignacio.

Agregado de cristales más o menos bipiramidales de wulfenita. Medidas: 5 x 4 mm. Colección y foto: Josep Antoni Ignacio.

Wulfenita junto con galena y sobre matriz de calcita. C.V.: 9 mm.
Colección: Jordi Ibáñez; foto: Josep Antoni Ignacio.

Wulfenita sobre galena alterada y con calcita. C.V.: 8 mm.
Colección: Emilio Téllez; foto: Josep Antoni Ignacio.

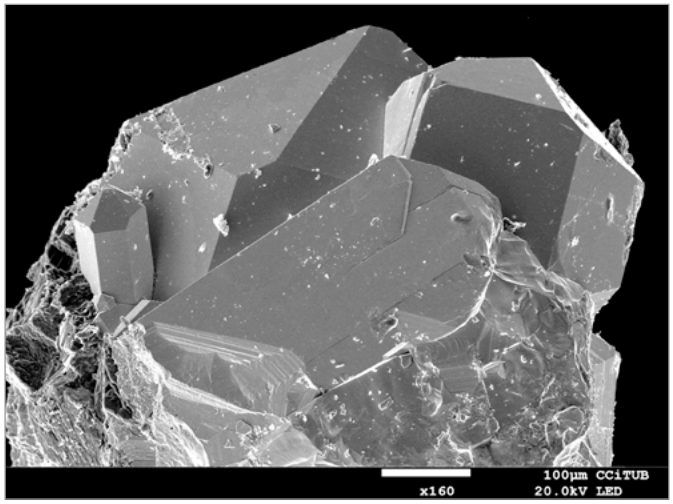
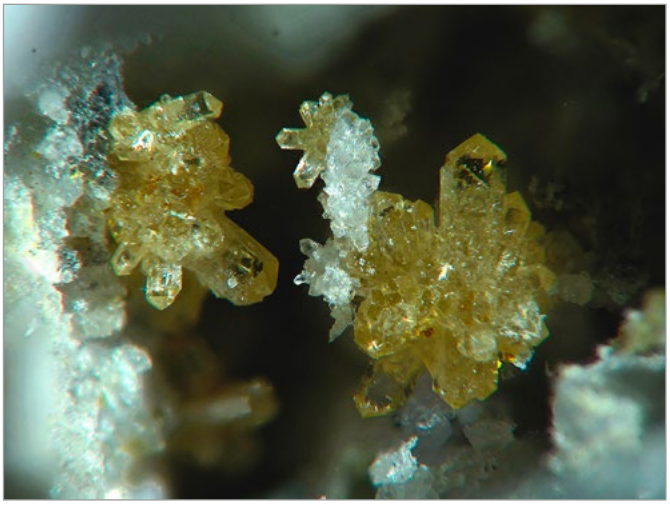
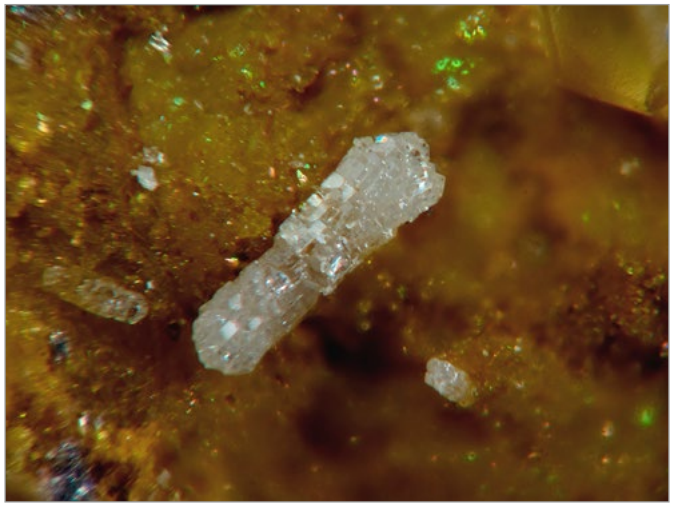


Imagen SEM de una mimetita con cristales hexagonales.
Foto: Joan Rosell.



Cristales prismáticos hexagonales de mimetita en grupos subparalelos, sobre calcita. C.V.: 7 mm.
Colección y foto: Xavier Rodríguez.

Agregado de mimetita de predominio prismático y muy rico en caras, sobre calcita. C.V. 3 mm. Colección y foto: Xavier Rodríguez.



Cristales de mimetita en disposición radial. C.V.: 6 mm.
Colección y foto: Xavier Rodríguez.

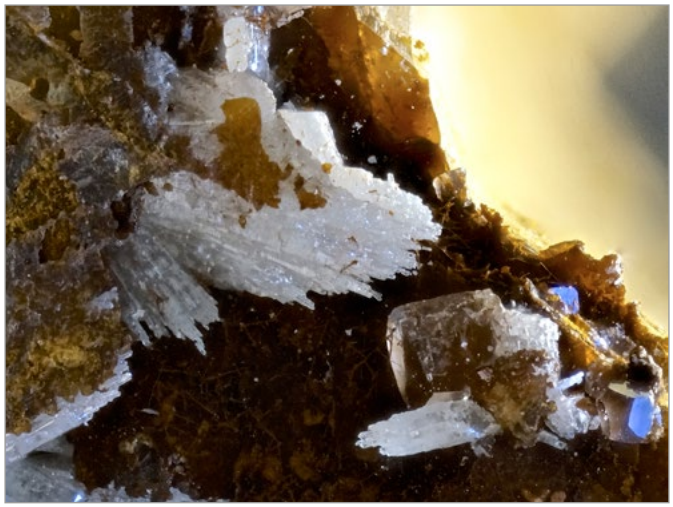
Agregado formado por multitud de cristales prismáticos de mimetita, sobre galena muy alterada. C.V.: 1 cm.
Colección y foto: Josep Antoni Ignacio.

las bipirámides tetragonales), de un tamaño de entre 0,5 a 1 mm. Se presentan en diversos colores, principalmente anaranjados, pero también amarillos, marrones, verdes y con tonos melados. Pueden formar agrupaciones de varios cristales con diversos tamaños y orientaciones o presentarse como cristales aislados.

Aparecen con menos frecuencia cristales en hábito bipiramidal, de tamaño milimétrico, algunos bastante alargados según el eje *c* (bipirámides agudas). Los colores van desde el gris claro hasta el blanco, pasando por el amarillo y el anaranjado, una variabilidad cromática muy atractiva en el estereomicros-

Cavidad en la fluorita rellena de cristales prismáticos hexagonales de mimetita. C.V.: 1 cm.
Colección y foto: Xavier Rodríguez.

Agregado de mimetita de predominio prismático y muy rico en caras, procedente del filón 'rojo'. C.V.: 8 mm.
Colección y foto: Josep Antoni Ignacio.



Agregado de cristales alargados y en paralelo de mimetita, con calcita. C.V.: 1 cm. Colección y foto: Josep Antoni Ignacio.

Cristales prismáticos hexagonales de mimetita, sobre calcita y galena alterada. C.V.: 1,5 mm. Colección y foto: Joan Rosell.

copio. Los ejemplares de wulfenita más estéticos son los pequeños agregados formados por la asociación de varios cristales.

Hace algunos años, en la mina "Teresita" se encontró la variedad de wulfenita rica en wolframio denominada chillagita (Álvarez y Montoriol, 1979), asociada a filones de barita. Lamentablemente, nosotros no hemos encontrado esta variedad en ninguno de nuestros estudios prospectivos.

Arseniatos

Mimetita, $Pb_5(AsO_4)_3Cl$

En un filón de la cara sur de la cantera de Can Rovira, formado básicamente por calcita espática encajada en la granodiorita, se descubrieron en 2014 pequeñas cavidades en las que aparecieron diminutos cristales de color oscuro, identificados de forma inicial como cuarzo. Un análisis SEM-EDS más profundo de la muestra recogida nos permitió saber que se trataba de mimetita.

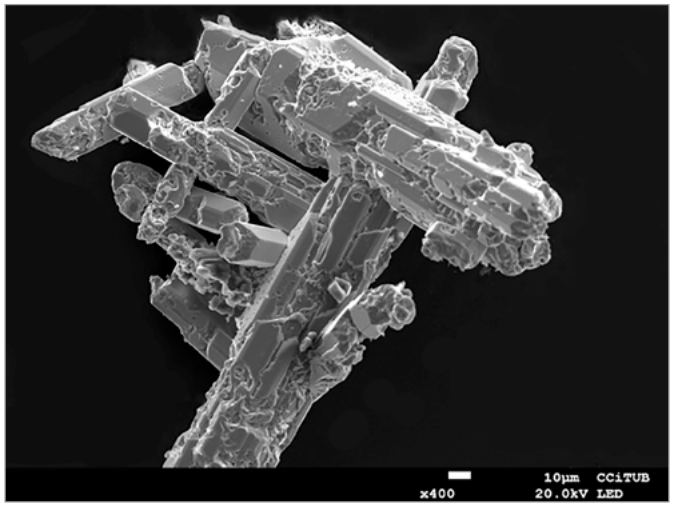
Esta especie cristaliza en el sistema hexagonal. La hemos encontrado como cristales incoloros y de color melado, tapizando pequeñas oquedades en barita, fluorita y calcita, donde también se acompañan de galena, en muchos casos bastante alterada a cerusita. Ocasionalmente, pueden encontrarse junto a la mimetita pequeños cristales tabulares de wulfenita.

Otras veces, casi siempre en ejemplares encontrados en la cantera de Can Rovira, la mimetita aparece en agregados ricos en caras, formados por cristales prismáticos (con terminación piramidal) en paralelo, incoloros y translúcidos, en pequeñas grietas y oquedades de la matriz. Anecdóticamente, hemos podido observar también agrupaciones de cristales en disposición divergente a radial.

Serie mimetita-hedifana, $Pb_5(AsO_4)_3Cl$ - $Pb_3Ca_2(AsO_4)_3Cl$

La hedifana es una especie mine-

Imagen SEM de una mimetita cálcica con caras parcialmente corroídas. Foto: Joan Rosell.



Cristales de mimetita cálcica en disposición caótica (tipo *jackstraw)*, con calcita, fluorita y galena alterada. C.V.: 9 mm. Colección: Jordi Ibáñez; foto: Josep Antoni Ignacio.

Agregados en gavilla formados por cristales prismáticos de mimetita cálcica. C.V.: 8 mm. Colección y foto: Xavier Rodríguez.

ral perteneciente al supergrupo del apatito. La mimetita, $Pb_5(AsO_4)_3Cl$, y la turneaureíta, $Ca_5(AsO_4)_3Cl$, forman una solución sólida en función de su contenido en plomo y calcio. Dicha solución incluye la hedifana, $Pb_3Ca_2(AsO_4)_3Cl$, como especie intermedia. En este sentido, podemos hablar de hedifana cuando $1<5\times Ca/(Ca+Pb)<3,5$ (Kampf *et al.*, 2006). Lo mismo ocurre con su análogo fosfático, la fosfohedifana, en la solución sólida cuyos extremos son la piromorfita y el clorapatito.

Resultados de la microsonda electrónica de la mimetita cálcica de Sant Fost, en % de peso. Con un asterisco, elementos a nivel de trazas y por debajo del límite de detección. Fuente: Xavier Llovet, unidad de microsonda, CCiTUB.

Nr.	As_2O_5	CaO	Cl	Na_2O*	F*	BaO*	MnO*	PbO	SO_3*	P_2O_5	SrO	Total	Comment
1	22,78	4,27	3,1	0	0	0	0,0088	68,67	0	0,1525	0	98,9813	248-mimetite-1
2	22,87	4,08	3,1	0,0279	0	0	0	68,64	0	0,0917	0,0781	98,8878	248-mimetite-2
3	23,77	3,96	3,01	0	0	0	0,1017	69,06	0	0,0424	0,0562	100,0002	248-mimetite-3
4	23,01	4,09	3,17	0,0031	0	0	0,0556	68,26	0	0,1323	0,046	98,7671	248-mimetite-4
6	23,56	3,97	2,93	0,0368	0	0	0	68,19	0	0	0,0758	98,7626	248-mimetite-6
7	23,16	4,1	2,99	0,0368	0	0	0	68,76	0	0,0869	0,0525	99,1862	248-mimetite-7
8	23,25	3,94	3,13	0,0209	0	0	0,0648	69,01	0	0,1002	0	99,516	248-mimetite-8
10	23,24	4,12	3,04	0,0098	0	0,0484	0	68,78	0,0381	0,0076	0	99,284	248-mimetite-10
11	23,21	4,02	2,86	0,0546	0	0	0,0272	69,4	0	0,047	0	99,6189	249-mimetite-1
12	23,39	3,8	3,02	0	0	0	0	69,27	0	0,0917	0,0671	99,6388	249-mimetite-2
13	23,1	3,9	3,05	0,0006	0	0,0388	0	67,96	0	0,0737	0,0015	98,1247	249-mimetite-3
14	23,81	4,26	3,03	0,0047	0	0	0,0463	66,87	0	0,0968	0	98,1179	249-mimetite-4
15	24,05	3,98	3,11	0	0	0	0,0171	68,38	0,0303	0,0414	0,0754	99,6842	249-mimetite-5
Minimum	22,78	3,8	2,86	0	0	0	0	66,87	0	0	0	98,1179	
Maximum	24,05	4,27	3,17	0,0546	0	0,0484	0,1017	69,40	0,0381	0,1525	0,0781	100,0002	
Average	23,32	4,04	3,04	0,02	0,00	0,01	0,02	68,56	0,01	0,07	0,03	99,12	
Sigma	0,38	0,13	0,08	0,02	0,00	0,02	0,03	0,66	0,01	0,04	0,03	0,59	

En un filón hidrotermal con fluorita, calcita, barita, cuarzo, galena y minerales secundarios de plomo, de la cantera de Can Rovira, se recogieron unas muestras que, bajo aumento, mostraban unos cristales prismáticos hexagonales blancos, poco o nada brillantes, que se agrupaban en gavillas entrecruzadas con una distribución caótica.

Por su aspecto, por la distribución de sus cristales y por su asociación con cerusita y nunca con wulfenita, como ocurre con la mimetita, nos hizo pensar en la posibilidad de que nos encontráramos ante una especie diferente a esta.

Recientemente se llevó a cabo un completo estudio mediante diversas técnicas analíticas (Rodríguez *et al.*, 2021), con la finalidad de discernir si los ejemplares podían considerarse como hedifana o se trataba de mimetita rica en calcio. En todas las mediciones mediante SEM-EDS se obtuvieron valores que no permitían concretar claramente su composición. La DRX presentó patrones y tamaños de celda intermedios entre los de la mimetita y la hedifana.

Finalmente, se realizó un estudio composicional mediante microsonda electrónica. Se hicieron 17 análisis en diferentes puntos de dos muestras. Hay que decir que se detectó la presencia de otros elementos a nivel de trazas, como el estroncio o el manganeso. Con los valores obtenidos, descartando los elementos traza o de bajo nivel de detección, la fórmula empírica media para las muestras de Sant Fost sería (para 12 oxígenos):

$Ca_{1.02}Pb_{4.35}(As_{2.88}P_{0.01})_{\Sigma 2.89}O_{12}Cl_{1.22}$.

A partir de estos datos obtenemos un valor de 5×Ca/(Ca+Pb) = 0,95, lo cual se corresponde, en promedio, con mimetita cálcica. Revisando todos los resultados elementales obtenidos vemos que se encuentran alrededor de 0,96, con alguna excepción que sobrepasa el 1. Por lo tanto, podemos concluir que este mineral de Sant Fost es mimetita (variedad mimetita cálcica), muy próxima a hedifana.

En Cataluña, la mimetita cálcica se ha descrito también en la mina de Les Ferreres, en Rocabruna (Rosell *et al.*, 2014).

Eritrita, $Co_3(AsO_4)_2 \cdot 8H_2O$

Este arseniato de cobalto se ha encontrado en el filón de calcopirita, en muy pocas muestras, gracias al compañero del GMC Valentín Bártulos. Se presenta sobre la calcopirita masiva como costras de alteración formadas por agregados globulares pulverulentos, de un tono ligeramente rosado, compuestos por numerosos microcristales prismáticos, casi aciculares. La eritrita forma una solución sólida con la annabergita, su análogo con Ni>Co. El análisis elemental de las muestras de Sant Fost, mediante SEM-EDS, nos da un cierto contenido en níquel, con una relación Co:Ni de 1,7:1

Silicatos

Aquí veremos la epidota, la moscovita (var. ferrimoscovita) y la surita. La willemita, que también es un silicato, se verá con más detalle en un posterior apartado.

Epidota, $Ca_2Fe^{3+}Al_2(Si_2O_7)(SiO_4)O(OH)$

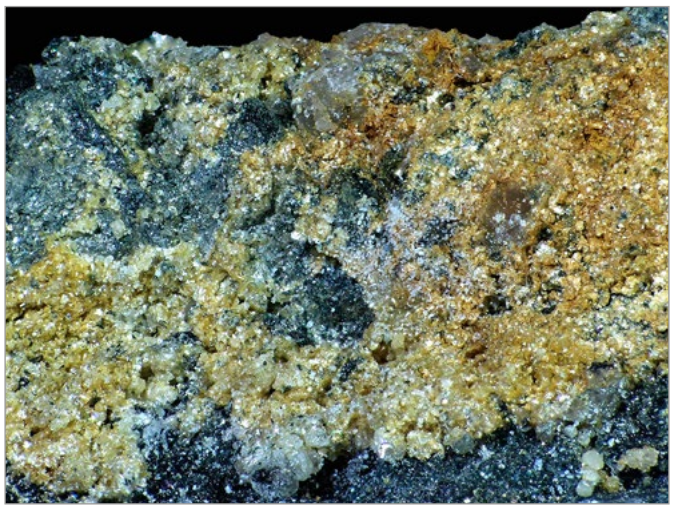
Este sorosilicato de calcio, aluminio y hierro cristaliza en el sistema monoclínico. La hemos encontrado como cristales prismáticos de tamaño submilimétrico, de color verde, tapizando la granodiorita en afloramientos separados de los filones descritos hasta ahora, probablemente como fruto de la alteración hidrotermal de feldespatos, micas, piroxenos, anfíboles y otros silicatos.

Moscovita, $K(Al,Fe^{3+})_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$

Se trata de un filosilicato de la familia de las micas, concretamente del grupo de las micas dioctaédricas. El análisis SEM-EDS realizado con las muestras de las canteras aportó una relación atómica aproximada de K:Fe:Al:Si, igual a 2:1:3:5. Con el aspecto micáceo observado *a visu* y esta composición (con ausencia de Ca, Mg y Na), concluimos

Agregados de eritrita sobre calcopirita. C.V.: 9 mm. Colección y foto: Joan Rosell.

Cristales de epidota sobre matriz granodiorítica. Tamaño: 6 x 5 x 3 cm. Colección y foto: Xavier Rodríguez.



Moscovita (var. ferrimoscovita) sobre esfalerita. C.V.: 9 mm. Colección y foto: Xavier Rodríguez.

Agregado con rosetas de microcristales laminares de surita. C.V.: 1,5 mm. Colección y foto: Josep Antoni Ignacio.

que muy probablemente se trata de la variedad de moscovita conocida como ferrimoscovita, en la que el hierro Fe^{3+} sustituye parcialmente a Al.

En las muestras macroscópicas encontradas se presenta en forma de cristales laminares submilimétricos, de tono dorado y brillo nacarado submetálico, formando un tapizado encima de esfalerita y junto con calcita.

Surita, $(Pb,Ca)_3Al_2(Si,Al)_4O_{10}(CO_3)_2(OH)_3 \cdot 0\text{-}0,6H_2O$

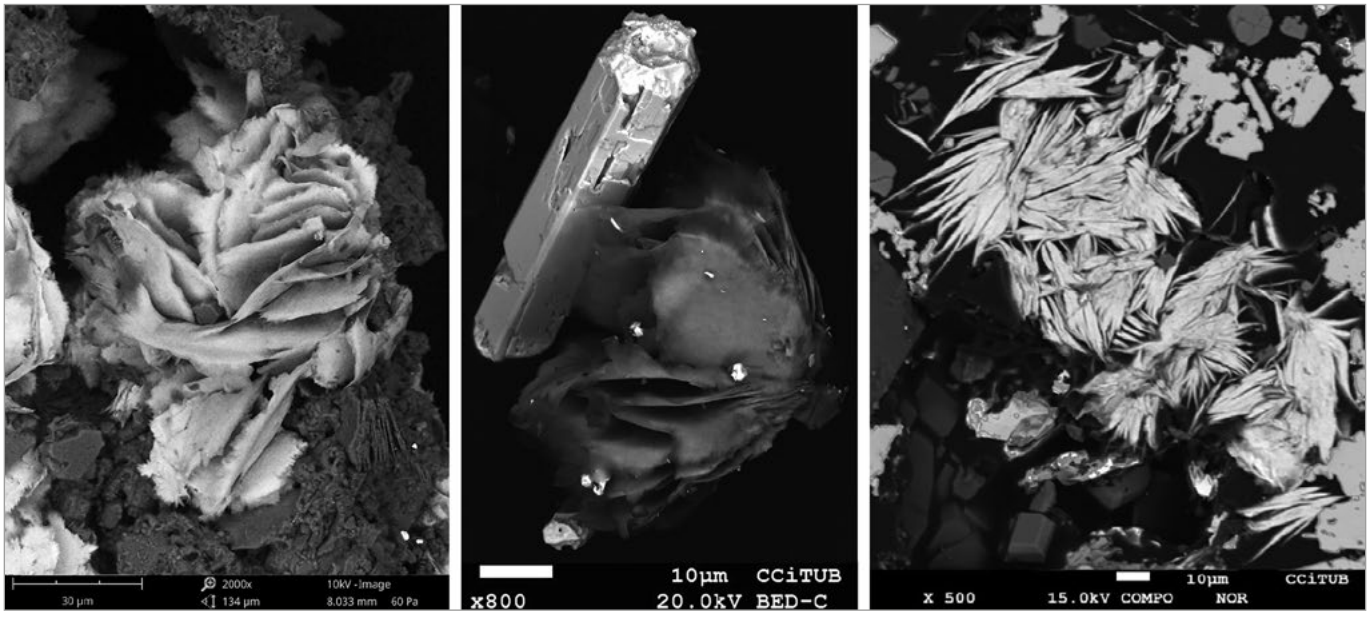
Cuando se estaban preparando las probetas pulidas con las muestras de la mimetita rica en calcio, para poder determinar su composición mediante microsonda electrónica, se observó la presencia de unos agregados de cristales de aspecto micáceo con brillo nacarado, acompañando al arseniato.

Los primeros resultados analíticos, obtenidos con SEM-EDS de bajo vacío y sin recubrimiento de carbono, indicaron que se trataba de un silicato con Pb, Al, Ca y cierto contenido de Fe, F, Mg, Cu y K. La búsqueda de especies minerales compatibles con esta composición se reducían a menos de una decena.

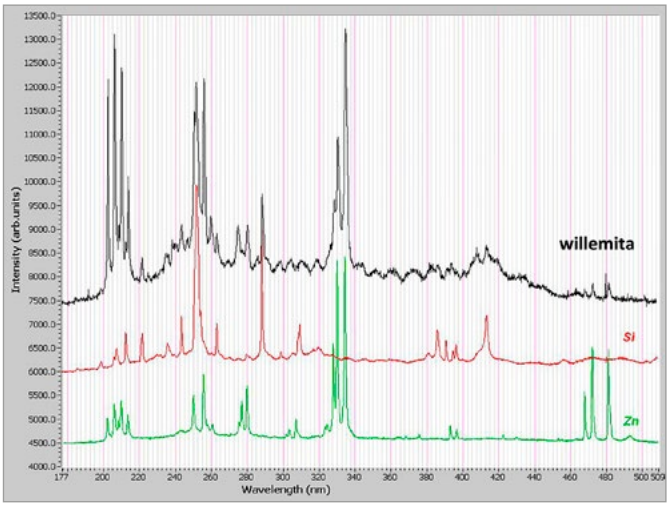
Algunos cristales de este mineral se analizaron mediante espectroscopia Raman. El espectro obtenido, bastante sencillo a simple vista, mostraba picos a 1083, 702, 258 y 192 cm^{-1}, relacionados con los grupos carbonato y silicato, y, en la zona de alta frecuencia, un pico a 3671 cm^{-1}, coherente con la presencia de grupos hidroxilo.

Con los resultados de SEM-EDS y los espectros Raman disponibles de especies de similar composición, se encontró una aceptable concordancia con un mineral poco

Imágenes SEM de la surita de la cantera de Can Rovira. La del centro, con un cristal de mimetita cálcica. Fotos: Joan Rosell.



Willemita y cerusita del Cerro de la Chinche, Villanueva de Córdoba, Córdoba, Andalucía. Colección: Inma Ramos; foto: Antonio Carmona.



Espectro LIBS de una willemita de Sant Fost. Fuente: Adolf Cortel.

habitual, la surita. Posteriormente, con la microsonda electrónica se pudo afinar la composición química de estos agregados y se confirmó la hipótesis de que se trataba de esta especie.

La surita que hemos encontrado en la cantera de Can Rovira, tal como hemos comentado, se presenta como agregados de cristales submilimétricos micáceos, formando rosetas de color blanquecino. Su brillo nacarado es muy característico. Apareció en una fisura subvertical encajada en la granodiorita, colmatada de materiales brechoides, muy alterados por sericitización y cloritización de los feldespatos, con fragmentos de cuarzo, barita, fluorita y filosilicatos no determinados, todo pigmentado de tonalidades amarillentas a rojizas, debido probablemente a los óxidos de hierro. En esta fisura aparecen cuerpos lenticulares alterados y cristales limpios de galena, incluidos en barita, siguiendo los bandeados de la colmatación. La surita se halla en los espacios generados por la alteración de la galena, y se acompaña de cerusita, mimetita, fluorita, calcita y cuarzo.

Es la primera cita en la Península Ibérica y una de las pocas localidades conocidas a nivel europeo y mundial.

La estructura de esta especie está formada por capas de tipo esmectita intercaladas con otras de tipo cerusita, con una composición compleja. A partir de los valores obtenidos con la microsonda electrónica, para $(Si,Al)_4O_{10}$ y $(CO_3)_2$, tenemos la siguiente fórmula aproximada:

$(Pb,Ca)_{\approx 2,5}(Al,Fe,Mg)_{\approx 2}(Si,Al)_4O_{10}$ $(CO_3)_2(OH,F)_{\approx 2}\cdot\approx 0,1H_2O$.

El Cu, a pesar de ser habitual como elemento traza en esta especie, lo hemos descartado por encontrarse por debajo del límite de detección de la técnica empleada.

Próximamente se publicará un artículo con la caracterización completa de la surita de Sant Fost de Campsentelles.

Imagen del filón de esfalerita, con willemita y otros componentes, de Can Rovira. Foto y montaje: Josep Antoni Ignacio.

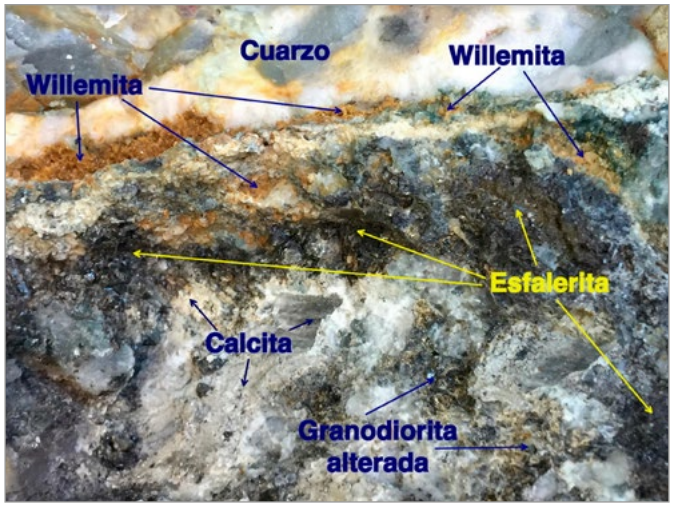
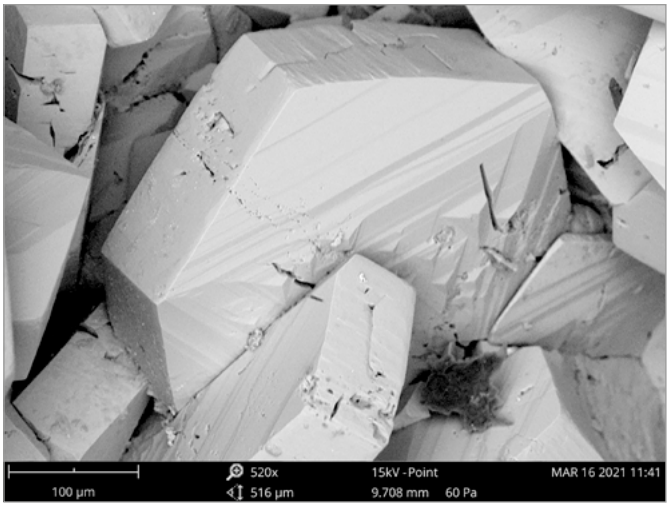


Imagen SEM de cristales de willemita de la cantera de Can Rovira. Foto: Joan Rosell.



Cristales de willemita. C.V.: 3 mm. Colección y foto: Xavier Rodríguez.

LA WILLEMITA DE SANT FOST DE CAMPSENTELLES

La willemita, $Zn_2(SiO_4)$, fue descubierta en el depósito de Kelmis (La Calamine) en Liège, Bélgica, en 1829. Posteriormente, Armand B. Levy, matemático, cristalógrafo y mineralogista francés, describió científicamente por primera vez el mineral (1843) y dedicó su nombre a Willem I (1772-1843), rey de Países Bajos entre 1815 y 1840.

En Cataluña, hasta el hallazgo en este yacimiento de Sant Fost de Campsentelles, no conocemos ninguna cita previa de esta especie. En el resto de la Península Ibérica está citada en las siguientes localidades:

- Mina "Santa Bárbara", Cerro de Santa Cruz, Níjar, Almería, Andalucía (Calvo, 2018).
- Mina "Sol" (o mina "La Milagrosa"), Cerro de los Guardias, Rodalquilar, Níjar, Almería, Andalucía (Calvo, 2018).
- Barranco Celejo, Níjar, Almería, Andalucía (Francisco Castro, com. pers., pendiente de publicación).
- Mina "San Rafael" (pozo núm. 3), Cardeña, Córdoba, Andalucía (Ramos *et al.*, 2012).
- Cerro del Hermano Blas, Córdoba, Córdoba, Andalucía (Carbonell Trillo-Figueroa, 1946).
- Cerro de la Chinche, Villanueva de Córdoba, Córdoba, Andalucía. Analizada por Ramón Jiménez en el IGME (2020), (Inma Ramos, com. pers., pendiente de publicación).
- Mina de Preguiça, Sobral da Adiça, Moura, Beja, Portugal (Pimentel *et al.*, 2007).

La willemita de Sant Fost ha sido determinada mediante una combinación de análisis: espectroscopia Raman, espectroscopia LIBS y difracción de rayos X (DRX), así como también mediante la observación petrográfica con lámina delgada.

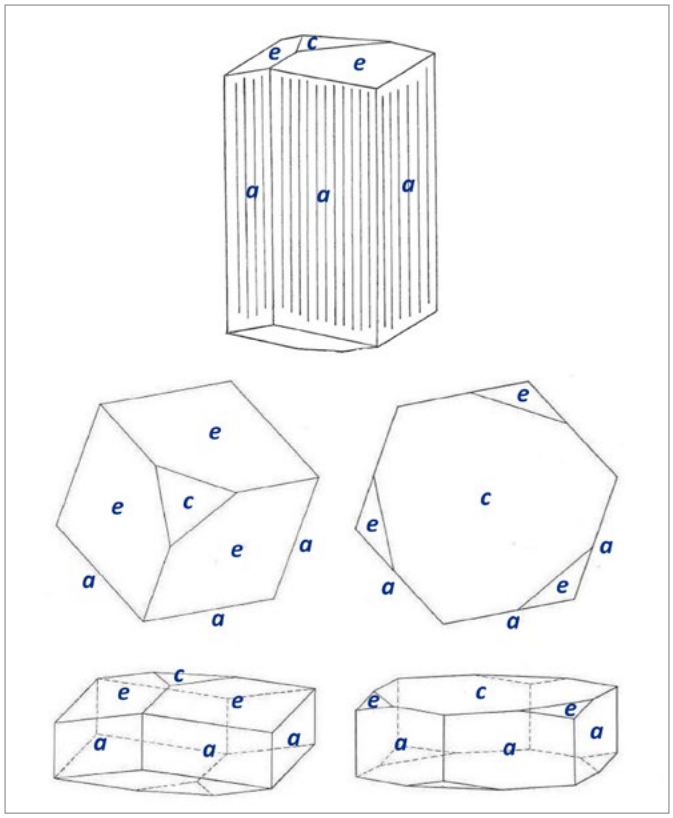
Composición química

Se trata de un nesosilicato con el catión Zn^{2+} como nexo de unión entre los tetraedros de SiO_4. Su composición química (porcentajes en peso) es: ZnO=73%, SiO_2=27% (Klein y Hurlbut, 1998). La composición por elementos químicos (porcentajes en peso) es: Zn=58,68%, Si=12,60% y O=28,72% (Terraciano, 2008).

Génesis

En Sant Fost, la willemita aparece en uno de los filones de esfalerita comentados al inicio de este artículo, junto con cuarzo, arcillas, calcita, fluorita y barita, todo encajado en la granodiorita.

Como en el yacimiento de Balmat (St. Lawrence Co., Nueva York, EE.UU.), la willemita de Sant Fost de Campsentelles se dispone en zonas de contacto entre la esfalerita y el cuarzo, en presencia de



Cristales de willemita. Arriba, de La Calamine, Bélgica, según Armand Lévy. Debajo (planta y alzado) de Balmat, EE.UU., según Pough. Estos últimos son los más parecidos a los de Sant Fost. Caras: *a*) de prismas hexagonales, *c*) de pinacoide, *e*) de romboedros. Dibujos: modificados de Buttgenbach (1947) y Pough (1940).

Cristales tabulares de willemita, formados por la combinación de prisma hexagonal de segundo orden, pinacoide (con recrecimientos) y romboedros. C.V.: 1,3 mm. Colección y foto: Fran García Alacid.

calcita. Especialmente recubriendo el interior de geodas, en donde la calidad y nitidez de los cristales es mucho más evidente.

La willemita se genera habitualmente como mineral secundario de zinc derivado de la meteorización supergénica de la esfalerita (gossan y otros depósitos oxidados) (Fernández Caliani *et al.*, 2015) o por la alteración supergénica de la esfalerita primaria en las vetas hidrotermales (Hitzman *et al.*, 2003), según la reacción química:

$2Zn^{2+}_{(aq)} + SiO_{2(aq)} + 2H_2O = Zn_2SiO_{4(willemita)} + 4H^+_{(aq)}$.

Estudios geoquímicos han propuesto la posibilidad de que la willemita se forme a temperaturas por encima de los 150 °C (Brugger *et al.*, 2003; Hitzman *et al.*, 2003). Esto aumenta la posibilidad de su precipitación primaria a partir de fluidos hidrotermales. Los estudios realizados revelan que en presencia de azufre y cuarzo disueltos, la willemita, en lugar de la esfalerita, precipita en condiciones oxidantes y alcalinas (Terraciano, 2008).

Cristalografía y características físicas

La willemita cristaliza en el sistema trigonal, en la clase de simetría romboédrica. Su estructura fue determinada en 1926 por Bragg y Zachariasen, por analogía con la de la fenaquita, $Be(SiO_4)$, a cuyo grupo pertenece. Dicha estructura consta de tetraedros SiO_4 y ZnO_4, con cada uno de los oxígenos enlazados a 2 de Zn y 1 de Si en los vértices de un triángulo equilátero (Klein y Hurlbut, 1998).

Aparece en cristales con hábito prismático a tabular hexagonal, por combinación de prismas hexagonales (con algunas caras estriadas verticalmente) con el pinacoide basal solo o combinado con romboedros (que suelen formar caras triangulares). Los cristales más tabulares con esta última combinación se asemejan a los de Balmat (Nueva York, EE.UU.) descritos por Pough (1940). Las caras del pinacoide pueden presentar recrecimientos (con formas triangulares). Esta cristalización es diferente a la de otras willemitas de la Península Ibérica más conocidas, como las de Preguiça (Portugal) o las de Córdoba (Andalucía, España).

Los cristales son de tamaño submilimétrico y aparecen aislados o en grupos. El color va del marrón oscuro al amarillo melado, pero también pueden ser incoloros, y el brillo es resinoso a adamantino.

Comportamiento ante UV: fluorescencia y fosforescencia

Lo más característico de los cristales de willemita de la cantera de Can Rovira es su comportamiento

Cristales tabulares de willemita. C.V.: 1,5 mm.
Colección y foto: Fran García Alacid.

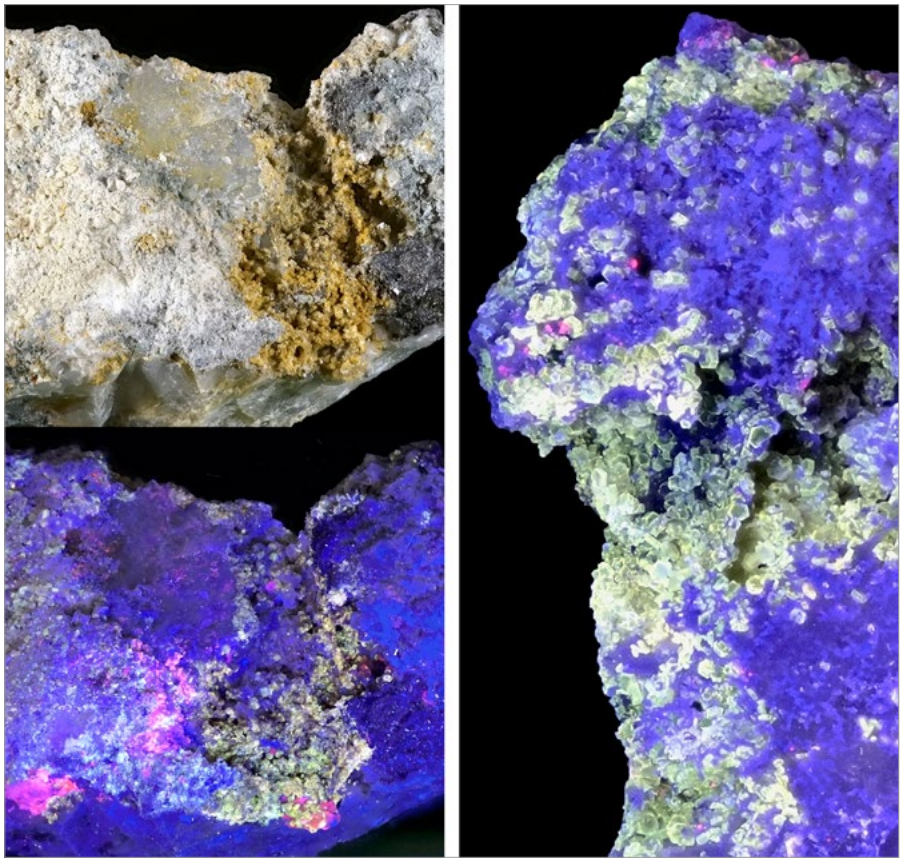
Cristales tabulares de willemita. C.V.: 1,5 mm.
Colección y foto: Fran García Alacid.

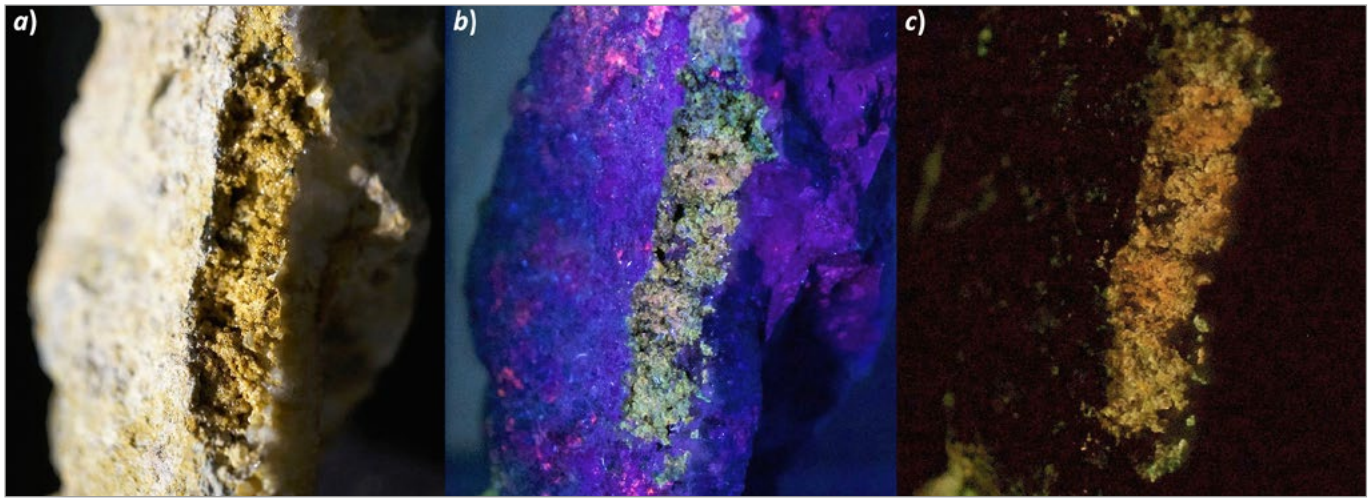
espectral luminiscente verde amarillento, muy intenso, para una longitud de onda de excitación de 254 nm (UV-SW, onda corta). En este sentido, la presencia de calcita acompañando a la willemita, con luminiscencia rosada intensa a la misma longitud de onda, ofrece un gran contraste.

Liebisch (1912) determinó espectroscópicamente la naturaleza de la fluorescencia verde en muestras de willemita. W.S. Andrews (1922) señaló que la willemita preparada artificialmente solo es activa cuando contiene algo de manganeso, y el tono de la fluorescencia verde depende de la cantidad de Mn^{2+} presente. Palache (1928), y posteriormente Servine (1943), confirmaron que la willemita que contiene cationes Mn^{2+} es la de fluorescencia más fuerte a una longitud de onda de 253,7 nm. Los cationes Mn^{2+} sustituyen al Zn^{2+} en los tetraedros ZnO_4. Estos cationes son altamente susceptibles a que algunos de sus electrones sean impulsados a estados de mayor energía por la luz ultravioleta de onda corta y luego a que esos mismos electrones emitan luz verde amarillenta cuando vuelven a su estado original (Spec4gem, 2019), como parece suceder en las muestras de Sant Fost de Campsentelles.

En el caso de estas willemitas también hemos observado luminiscencia con fosforescencia de color anaranjado a amarillo posterior a la exposición prolongada a luz UV-SW. Según Servine (1943), esta reacción luminiscente de la willemita a la onda corta se debería igualmente a la presencia de impurezas de Mn^{2+} en su red cristalina, pero también podría asociarse a defectos cristalinos producidos por una cristalización rápida a partir de fluidos hidrotermales de alta temperatura.

Willemita sometida a luz visible (izquierda-arriba) y a la luz UV de onda corta (a 254 nm) (izquierda-abajo y derecha). La willemita (fluorescencia verde amarillenta) contrasta con la calcita (fluorescencia rosada) y con los silicatos y la esfalerita, no fluorescentes (color azul a violeta). En la foto de la derecha llega a apreciarse la forma hexagonal de varios cristales. Colección y fotos: Josep Antoni Ignacio.





Tres imágenes del comportamiento luminiscente de la willemita: *a*) bajo luz visible; *b*) fluorescencia bajo luz UV de onda corta (a 254 nm); *c*) fosforescencia, amarillo a anaranjado, tras una exposición de 2 minutos a luz UV de onda corta (a 254 nm). Colección y fotos: Josep Antoni Ignacio.

Comportamiento bajo luz polarizada

En el microscopio petrográfico, en lámina delgada y bajo luz polarizada, la willemita se distingue por mostrar colores de alta interferencia. En la fotografía realizada con nícoles cruzados se puede apreciar la esfalerita, negra (extinta), porque es isótropa, fracturada y rellena de calcita. En la parte inferior izquierda se puede observar mejor la calcita típica con sus colores de interferencia blanquecinos a rosados.

La willemita se presenta en cristales euhedrales, o sea, con una forma definida y caras reconocibles, que representan secciones planas donde el contacto con la esfalerita es muy irregular. Se pueden observar algunas de sus características ópticas, como son los colores de interferencia. Algunos cristales son oscuros debido a que están en el ángulo justo de extinción.

Resultados de los análisis de DRX

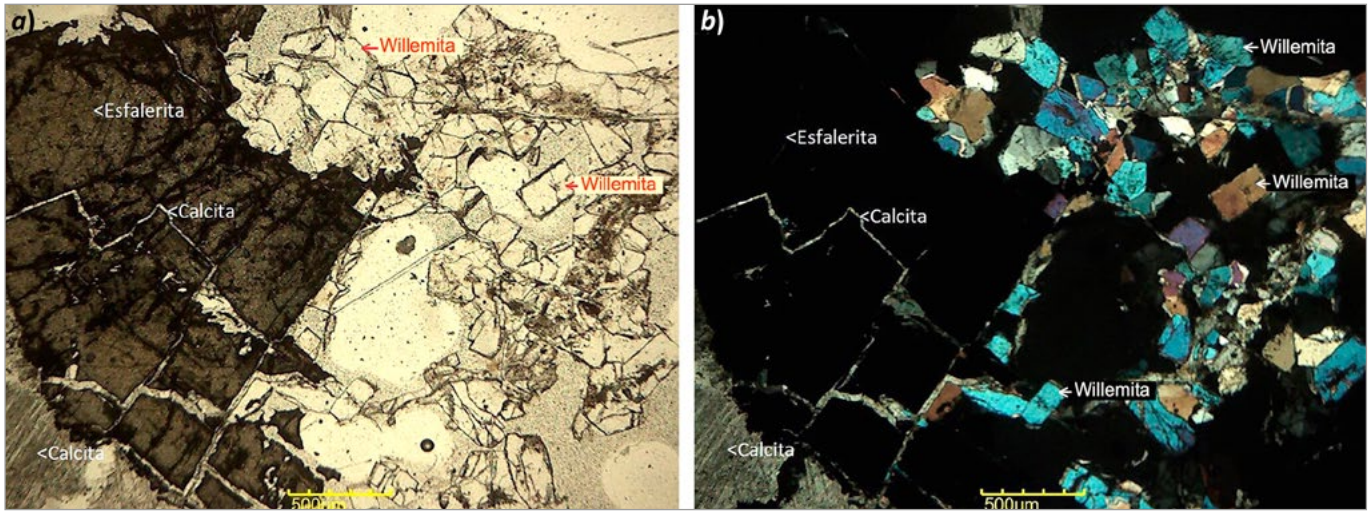
El análisis del difractograma en polvo de una de las muestras reveló, como cabía esperar, un total acuerdo con el patrón de referencia de la base de datos PDF-2 del International Centre for Diffraction Data (ICDD).

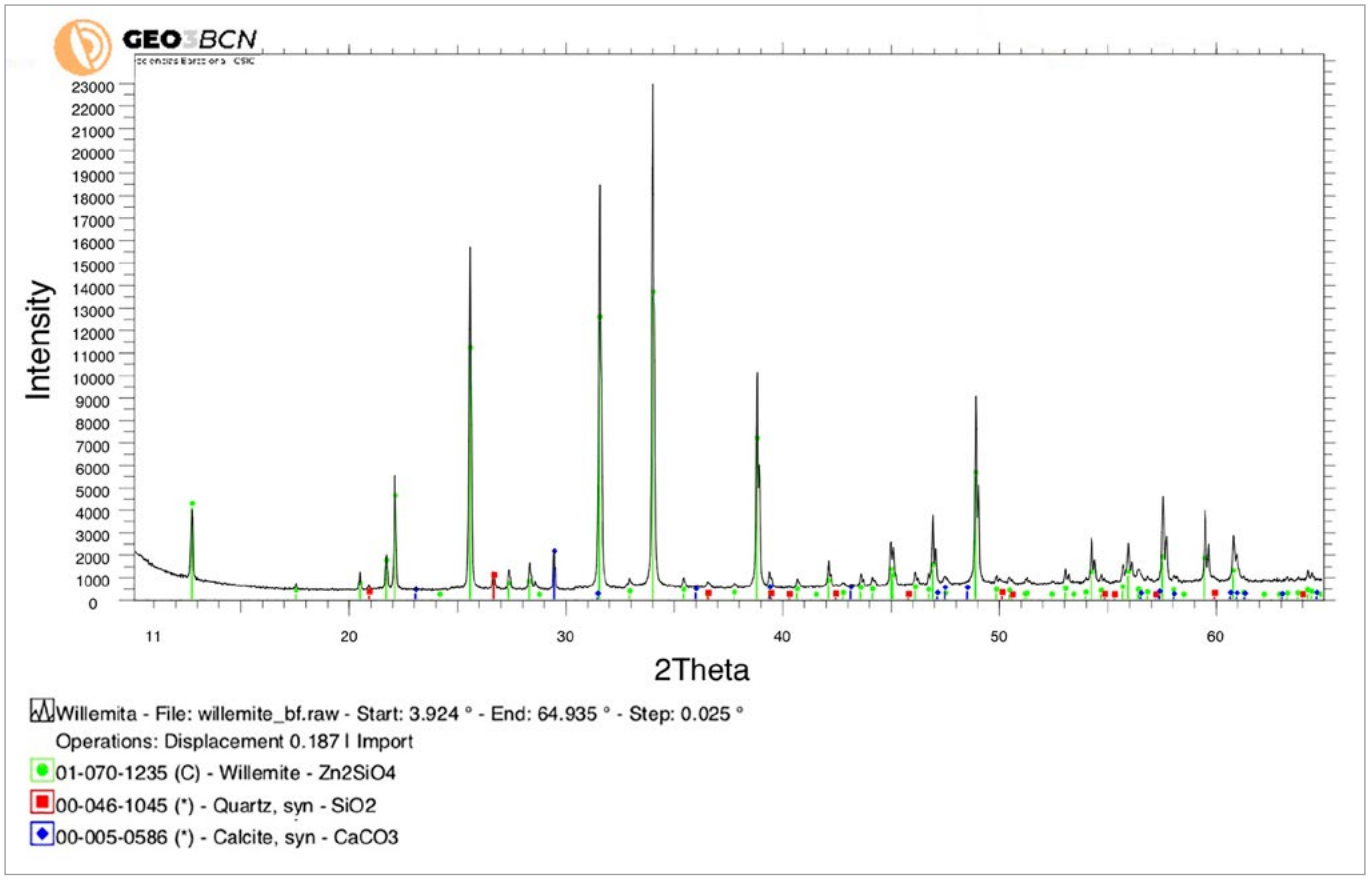
El análisis de los resultados de difracción utilizando el método de Rietveld han permitido refinar la celda unidad de la willemita de Sant Fost de Campsentelles. Los caracteres de red obtenidos son:

- Grupo espacial: $R\overline{3}$.
- Número Z: 18.
- Parámetros de red: a = 13,938 Å, c = 9,305 Å.

Estos parámetros de red son casi idénticos a los del estudio de Klaska *et al.* (1978): a = 13,93 Å, c

Imágenes de lámina delgada de la willemita de Sant Fost sometida a luz polarizada: *a*) con nícoles paralelos; *b*) con nícoles cruzados. Se observa esfalerita, en color negro dado su carácter isótropo, fracturada y rellena de calcita. La willemita se presenta con colores de alta interferencia. Colección: Emilio Téllez; fotos: GEOMAR.





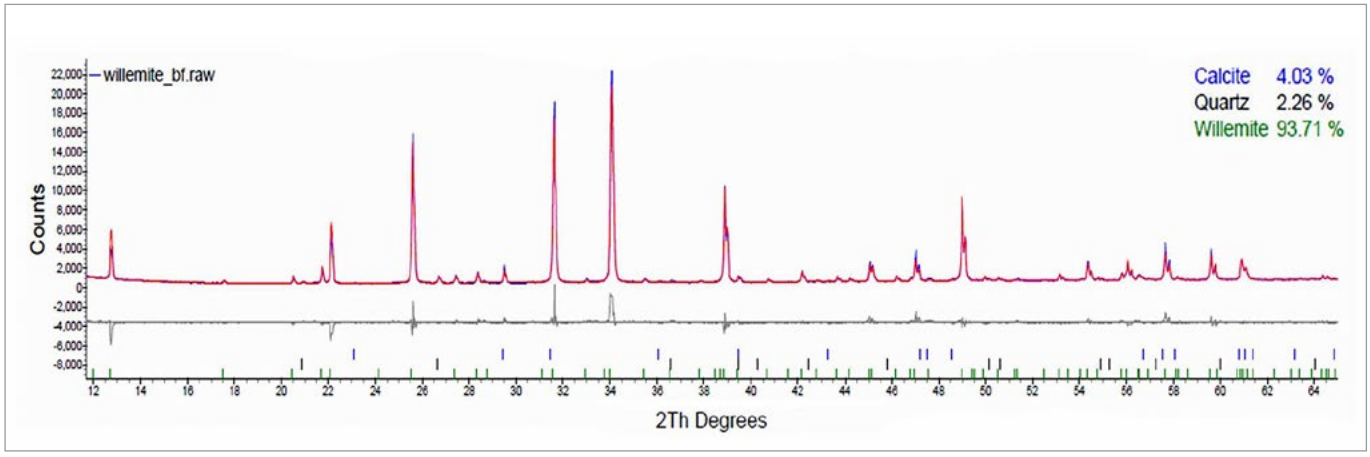
Difractograma de willemita de Sant Fost. Las señales en color verde corresponden al patrón de referencia (International Centre for Diffraction Data). Fuente: servicio DRX, GEO3BCN-CSIC.

= 9,31 Å, y próximos a los de Klein y Hurlbut (1998): a = 13,96 Å, c = 9,34 Å.

CONCLUSIONES

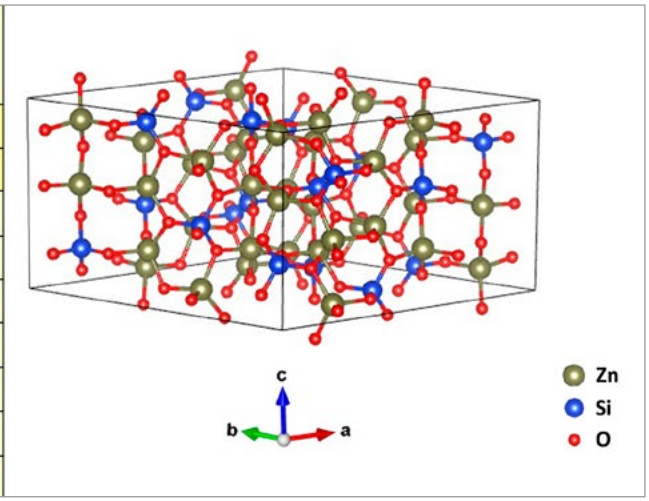
El estudio realizado en las zonas extractivas de Sant Fost de Campsentelles, centrado principalmente en la cantera de Can Rovira, nos ha proporcionado enormes satisfacciones. Aparte de representar una oportunidad de reunión amistosa para nosotros, los días pasados en las canteras han sido siempre fructíferos. La organización sistemática de la prospección de cada uno de los diversos filones de las canteras y el estudio concienzudo de las muestras extraídas, nos ha permitido realizar dos descubrimientos mineralógicos importantes y un tercero de menor entidad pero sí relevante.

Refinamiento Rietveld del difractograma anterior. Se indican los porcentajes de las tres especies. Fuente: servicio DRX, GEO3BCN-CSIC.



Grupo espacial: $R\bar{3}$
Parámetros celda: $a = 13{,}938$ Å, $c = 9{,}305$ Å
Fórmula simplificada: $Zn_2(SiO_4)$ / Número $Z = 18$

Posiciones atómicas			
Átomos	***x***	***y***	***z***
Zn1	0,192	0,211	0,583
Zn2	0,190	0,218	0,919
Si	0,193	0,214	0,249
O1	0,134	0,205	0,108
O2	0,127	0,198	0,391
O3	0,104	0,195	0,750
O4	0,317	0,320	0,264



Datos estructurales, en función del refinamiento Rietveld de la DRX, de la willemita de Sant Fost y, a la derecha, estructura resultante. Fuente: servicio DRX, GEO3BCN-CSIC.

Este artículo incluye los resultados de más de cinco años de trabajo, complementado por un concienzudo análisis de laboratorio, que ha permitido la determinación de dos nuevas especies en Cataluña: willemita y surita. También ha permitido la incorporación de una localidad nueva para la variedad de mimetita conocida como mimetita cálcica.

Una de ellas, el filosilicato surita, no solo es una nueva cita en la Península Ibérica sino que además colocaría a la cantera de Can Rovira como quinta localidad mundial de esta especie en la lista que aparece en Mindat. Su determinación física y química y los resultados del estudio cristalográfico se presentarán próximamente en una publicación que se encuentra actualmente en elaboración.

De la willemita podemos decir que por cristalización es más similar a la de Balmat (Nueva York, EE.UU.) que a la de Preguiça (Portugal) o a las de Córdoba (Andalucía, España).

En cuanto a la mimetita cálcica, como comparaba el añorado Dr. Joan Vinyals, hemos ejercido de "modestos forenses mineralógicos ante un descubrimiento clave de restos arqueológicos humanos", para comprender y caracterizar un mineral de composición intermedia entre la mimetita y la hedifana, resultando ser finalmente la variedad cálcica de esta última. El complejo y minucioso proceso de determinación de laboratorio realizado con este mineral nos permite afirmar que, siempre que esté al alcance del investigador, se debería complementar al máximo con el trabajo de campo, por desalentador que parezca a veces, para llegar a conclusiones científicas satisfactorias y válidas.

En el futuro pretendemos continuar con la colaboración entre el GMC y las entidades científicas de nuestro país, profundizando en el estudio de más minerales en la cantera de Can Rovira, que esperamos puedan aparecer publicados en los próximos años.

Agradecimientos

A la empresa Promotora Mediterránea-2 S.A. PROMSA, por permitirnos amablemente acceder a la cantera de Can Rovira con el fin de estudiar su geología y mineralogía.

A la Hípica Can Rovira y a su administrador, Pere Saragossa, por facilitarnos el acceso a la cantera desde su propiedad y por su excelente trato hacia nosotros.

A los responsables de los servicios de SEM-EDS, Dr. Javier García Veigas y David Artiaga, del servicio de Raman, Dr. Tariq Jawhari, y de microsonda electrónica, Dr. Xavier Llovet, de los Centres Científics i Tecnològics de la Universitat de Barcelona (CCiTUB), por su colaboración y atención en los análisis.

Al Dr. Antoni Roca, de la Facultad de Química, y al Dr. Joan Carles Melgarejo, de la Facultad de Geología, de la Universitat de Barcelona, por su apoyo en el estudio de la mineralogía.

Al instituto de investigación Geociencias de Barcelona (GEO3BCN-CSIC), antiguo Instituto Jaume Almera (ICTJA-CSIC), y a Soledad Álvarez, técnica del Servicio de Difracción de RX de dicho instituto, por los análisis de DRX.

Al Dr. Joan Martínez Bofill, gerente de GEOMAR Enginyeria del Terreny, y a Joana Lluch y Enrique Rossell, miembros de su equipo, por el tratamiento y estudio de algunas muestras.

Al Dr. Marc Campeny, conservador de Mineralogía del Museo de Ciencias Naturales de Barcelona (MCNB) i a la Dra. Mercé Corbella, del Departamento de Geología de la Facultad de Ciencias de la Universitat Autònoma de Barcelona, por su asistencia en los contenidos geológicos.
A Francisco 'Fran' García Alacid, por su generosidad al facilitarnos las magníficas fotografías realizadas a las muestras de willemita. A Inma Ramos y a Antonio Carmona, por cedernos una foto sobre la willemita del Cerro de la Chinche. A Aleydis Soliveres, por permitirnos amablemente fotografiar algunos de los ejemplares de su colección. A Frederic Varela, por permitirnos fotografiar el ejemplar de fluorita zonada de su colección. A Jordi Carbonell, por cedernos la foto de la azurita.
A José Luis Garrido, por la inestimable y concienzuda revisión del artículo. A Joan Manuel Ybarra, por la corrección ortográfica y la traducción al catalán.
Y finalmente, pero no por ello menos importante, a nuestras parejas, por la gran cantidad de horas que nos han permitido ausentarnos de su lado para hacer este estudio, y por la paciencia demostrada en soportar nuestra pasión por los minerales.

Bibliografía

- Abella i Creus, Joan (2008). *Minerals i Mines de la Conca de Bellmunt del Priorat.* Barcelona: autoedición.
- Anceau, Annick; Prestianni, Cyrille; Hatert, Frédéric; Denayer, Julien. (2017) "Les sciences géologiques à l'Université de Liège: deux siècles d'évolution Partie 1: de la fondation à la Première Guerre Mondiale". *Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège, Actes de colloques, Deux siècles de sciences à l'Université de Liège,* vol. 86, pp. 27-101.
- Álvarez-Pérez, Aureli; Montoriol-Pous, Joaquim (1979). "Sobre la presència de chillagita a Sant Fost de Campsentelles (Barcelona)". *Butlletí de la Institució Catalana d'Història Natural,* vol. 43, pp. 69-72.
- Bareche, Eugeni. (1994). "Mines de Catalunya. 'Papiol'-Sant Cugat del Vallès". *Mineralogistes de Catalunya*, vol. 6, núm. 2-3, pp. 34-77.
- Bareche, Eugeni. (2005). *Els minerals de Catalunya, segle XX*. Barcelona: autoedició.
- Bareche, Eugeni; Coca, Jordi (1985). "Mines de Catalunya. Serralada litoral catalana. St. Fost de Campcentelles - Martorelles - Reixac". *Mineralogistes de Catalunya*, vol. 3, núm. 2 (1985-2), pp. 30-36.
- Blanchard, Roland (1968). *Interpretation of leached outcrops*. Bulletin 66. Reno (EE.UU.): Nevada Bureau of Mines.
- Braun, Max (1857). "Ueber die Galmeilagerstätte des Altenberges im Zusammenhang mit den Erzlagerstätten des Altenberger Grubenfeldes un der Umgegend". *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft*, vol. 9, pp. 354-370.
- Brown, John S. (1936). "Supergene sphalerite, galena, and willemite at Balmat, NY". *Economic Geology*, vol. 31, pp. 331-354.
- Brugger, Joël; McPhail, D. C.; Wallace, Malcolm; Waters, John. (2003). "Formation of Willemite in Hydrothermal Environments". *Economic Geology*; vol. 98, núm. 4, pp. 819-835.
- Calvet, F.; Travé, A.; Roca, E; Soler, A.; Labaume, P. (1996). "Fracturación y migración de fluidos durante la evolución tectónica neógena en el Sector Central de las Cadenas Costeras Catalanas". *Geogaceta*, vol. 20, núm. 7, pp. 1715-1718.
- Calvo Rebollar, Miguel (2015)**.** *Minerales y Minas de España. Volumen VII. Fosfatos, arseniatos y vanadatos.* Madrid: Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid / Fundación Gómez Pardo.
- Calvo Rebollar, Miguel (2018)**.** *Minerales y Minas de España. Volumen IX. Silicatos.* Madrid: Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid / Fundación Gómez Pardo.
- Canals, Àngels; Ayora, Carles (1988). "Las mineralizaciones filonianas del sector de L'Argentera (Cadenas Costeras Catalanas): Contexto geológico, estructura, tipología y condiciones de formación". *Acta Geològica Hispànica*, vol. 23, núm. 3, pp. 155-170.
- Cantarero Abad, Irene (2013). *Deformation-fluid multiphase interaction within the fractures of the Barcelona Plain and the Vallès Basin: influence on fault rocks and diagenesis.* Tesis doctoral. Barcelona: Universitat de Barcelona, Facultat de Geologia.

- Cardellach, Esteve; Canals, Àngels; Grandia, Fidel (2003). "Recurrent hydrothermal activity induced by successive extensional episodes: The case of the Berta F-(Pb-Zn) vein system (NE Spain)". *Ore Geology Reviews*, vol. 22, núm. 1-2, pp. 133-141.
- Closas i Miralles, Josep (1931). "Presència de la Wulfenita (MoO4Pb) a Sant Fost de Campcentelles". *Butlletí de la Institució Catalana d'Història Natural*, vol. 31, núm. 1-2-3, pp. 42-43.
- Dana, Erward Salisbury (1892). *System of mineralogy*. 6ª ed. Nueva York: John Wiley & Sons; pp. 460-461
- Fernández-Caliani, Juan Carlos; Rivera, María Belén; Giráldez, María Inmaculada (2015). "Alteración Supergénica de las Mineralizaciones Pb-Zn-(Ag) de la Sierra de Aracena (Huelva). Implicaciones Edafogeoquímicas". *Macla*, núm. 20, pp. 45-46.
- Francis, Carl A. (1985). "New data on the forsterite-tephroite series". *American Mineralogist*, vol. 70, pp. 568-575.
- Gaft, Michael; Reisfeld, Renata; Panczer, Gérard. (2005). "Modern Luminescence Spectroscopy of Minerals and Material". Editorial Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp 50-62, 131, 236, 250.
- Gaspar-Escribano, J.M.; García-Castellanos. D.; Roca, E.; S. Cloetingh (2004). "Cenozoic vertical motions of the Catalan Coastal Ranges (NE Spain): The role of tectonics, isostasy, and surface transport". *Tectonics*, vol. 23, 18 pp.
- Hang, Chin'; Simonov, M. A.; Belov N. V. (1970). "Crystal structures of willemite Zn2[SiO4] and its germanium analog Zn2[GeO4]". *Soviet Physics – Crystallography*, vol. 15, núm. 3, pp. 387-390.
- Hayase, Kitaro; Dristas, Jorge A.; Tsutsumi, Sadao; Otsuka, Ryohei; Tanabe, Sachio; Sudo, Toshio; Nishiyama, Tsutomu (1978). "Surite, a new Pb-rich layer silicate mineral". *American Mineralogist*, vol. 63, pp. 1175-1181.
- Hitzman, Murray W.; Reynolds, Neal A.; Sangster, D.F.; Allen, Cameron R.; Carman, Chris E. (2003). "Classification, genesis, and exploration guides for nonsulfide Zinc deposits". *Economic Geology*, vol. 98, núm. 4, pp. 685-714.
- Klaska, K.-H.; Eck, J.C.; Pohl, D. (1978). "New investigation of willemite. Anisotropic displacement parameters from ICSD". *Acta Crystallographica*, vol. 34, pp. 3324-3325.
- Klein, Cornelius; Hurlbut, Cornelius S. Jr. (1998). *Manual de Mineralogía*. Basado en la obra de J.D. Dana. 4ª ed. Barcelona: Edit. Reverte.
- Lévy, A. (1843). "Description de plusieurs espèces minérales appartenant à la famille du zinc". *Annales des Mines*; 4ª serie, núm. 4, p. 517.
- Mackenzie, W.S.; Adams, A. E. (1997). *Atlas en color de rocas y minerales en lámina delgada*. Bacelona: Masson.
- Marigot Manrique, Montserrat (2007). Estudi sobre el ritme de restauració de les activitats extractives de Catalunya. Memòria del Projecte Fi de Carrera de Ciències Ambientals; p. 61. Bellaterra (Barcelona): Universitat Autònoma de Barcelona, Facultat de Ciències, Secció de Ciències Ambientals.
- Mata i Perelló, Josep. M. (1990). *Els minerals de Catalunya*. Barcelona: Institut d'Estudis Catalans.
- Menor Salván, César. (2009). "Dewindtita y fosfohedyfana de la mina 'Esperanza', Villar de la Yegua, Salamanca". *Revista de Minerales,* núm. 2009-2; pp. 16-17.
- Menor-Salván, César (2010): "Mineralogía de Plomo-Zinc en Madridejos (Toledo)". *Acopios*, vol. 1., pp. 53-67.
- Metcalf-Johansen, John (1977). "Willemite from the Ilímaussaq alkaline Intrusion". *Mineralogical Magazine*, vol. 41, pp. 71-75.
- Munoz, Marguerite; Baron, Sandrine; Boucher, Adrien; Béziat, Didier; Salvi, Stefano (2015). "Mesozoic vein-type Pb–Zn mineralization in the Pyrenees: Lead isotopic and fluid inclusion evidence from the Les Argentières and Lacore deposits". *Comptes Rendus Geoscience*, vol. 348, pp. 322-332.
- Pérez, David; Rosell, Joan (1991). "Minerals de St. Pere Màrtir (Serra de Collserola)". *Mineralogistes de Catalunya*, vol. 5, núm. 2, pp. 36-39.
- Pimentel, R.; Nunes, R.; De Ascençao, R. (2007). "Les minéraux d'altération de plomb (Pb) et zinc (Zn) du massif de Preguiça, Moura, Portugal". *Le Règne Minéral*, vol. 75, pp. 19-26.
- Piqué, Àngels; Canals, Àngels.; Grandia, Fidel; Banks, David A. (2008). "Mesozoic fluorite veins in NE Spain record regional base metal-rich brine circulation through basin and basement during extensional events". *Chemical Geology*, vol. 257, pp. 139–152.

- Pough, Frederick H. (1940). "Willemite morphology and paragénesis at Balmat. New York". *American Mineralogist*, vol. 25, núm. 7, pp. 488-496.
- Ramos Márquez, Inmaculada; Menor Salván, César; Calvo Rebollar, Miguel; Carmona Ruiz, Antonio; Viñals, Joan (2012). "Kasolita de la mina 'San Rafael', Cardeña, Córdoba, España". *Acopios*, vol. 3, pp. 63-76.
- Rewitzer, Christian; Calvo Rebollar, Miguel; Hochleitner, Rupert; Utrera Martín, Carlos (2018). "Adamita, austinita, schlegelita, dugganita y otros minerales poco comunes en la concesión 'Cogolla Alta', Belalacázar, Córdoba, España". *Revista de minerales*; núm. 2018-2, pp. 50-77.
- Rewitzer, Christian; Hochleitner, Rupert; Fehr, Thomas (2019). "Mina Casualidad. Baños de Alhamilla, Almería (1ª parte). *Revista de minerales*; núm. 2019-2, pp. 8-32.
- Rewitzer, Christian; Hochleitner, Rupert; Fehr, Thomas (2020). "Mina Casualidad. Baños de Alhamilla, Almería (2ª parte). *Revista de minerales*; núm. 2020-1, pp. 8-36.
- Rodriguez, Xavier; Ignacio, Josep Antoni; Téllez, Emilio; Cortel, Adolf; Ibañez-Insa, Jordi; Rosell, Joan (2021). "¿Mimetita rica en calcio o hedifana? Canteras de Sant Fost de Campsentelles, Vallès Oriental, Barcelona". Web *Foro de Mineralogía Formativa* (FMF).
- Rodriguez, Xavier; Téllez, Emilio; Ignacio, Josep Antoni; Formiga, Josep (2016). "Les mines de Can Magre, Vidreres, la Selva, Girona". *Paragénesis*, vol. 1, núm. 2 (2016-2), pp. 3-46.
- Rosell, Joan; Garrido, Josep L.; Viñals, Joan; Bártulos Valentín; Vinyoles, Joan; Ortiz, Xavier; Mingueza, Pedro; Masons, Gemma; Bobí, Fermí (2014). *Rocabruna i el seu entorn. La mina de les Ferreres.* Barcelona: autoedición.
- Salas, Ramon; Casas, Albert (1993). "Mesozoic extensional tectonics, stratigraphy and crustal evolution during the Alpine cycle of the eastern Iberian basin". *Tectonophysics*, vol. 228, pp. 33-55.
- Schneider, Jens; Boni, Maria; Laukamp, Carsten; Bechstädt, Thilo; Petzel, Volker (2008). "Willemite (Zn2SiO4) as a possible Rb–Sr geochronometer for dating nonsulfide Zn–Pb mineralization: Examples from the Otavi Mountainland (Namibia)". *Ore Geology Reviews*, vol. 33, pp. 152-167.
- Servigne, M. (1943). "La photo-luminescence des willémites. Remarques sur les relations de la luminescence à la constitution chimique de ces minéraux. Application à quelques exemples". *Bulletin de la Société Française de Minéralogie*, vol. 66, pp. 452-478.
- Simonov, M.A., Sandomirskii, P.A., Egorov-Tismenko, Y.K., Belov, N.V. (1977). "Crystal structure of willemite, $Zn_2[SiO_4]$". *Doklady Akademii Nauk SSSR*, vol. 237, pp. 581-584.
- Terraciano, Rosario (2008). *Willemite mineralisation in Namibia and Zambia*. Tesis doctoral. Nápoles: Università degli Studi di Napoli 'Federico II', Facoltà di Scienze.
- Tomas, Llorenç (1919-1920). *Els minerals de Catalunya.* Treballs de la Institució Catalana d'Historia Natural. Barcelona: Institut d'Estudis Catalans; pp. 129, 357.
- Triquell i Salomé, Adrià, (2012). *Parc de la Serralada Litoral. Història i itineraris*. Barcelona: Edit. Piolet.
- Troost, Gerard (1825). "Observations on the Zinc Ores of Franklin and Sterling, Sussex County, New Jersey". *Journal of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*, vol. 4, pp. 220-231.
- Uehara, Motoki; Yamazaki, Atsushi; Tsusumi, Sadao (1997). "Surite: Its Structures and Properties". *American Mineralogist*, vol. 82, pp. 416-422.
- Vanuxem, Lardner; Keating, William H. (1824). "Siliceous oxide of zinc". *Journal of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*, vol. 4, p. 8.
- Varela Balcells, Frederic (2019). "Mimetita de la mina 'Casandra', Ribes de Freser, valle de Ribes, el Ripollès, Girona. *Paragénesis*, vol. 2, núm. 1 (2019-1), pp. 27-32.
- Vinyoles Verdaguer, Joan; Garrido Rufaste, Josep Lluís; Cortel Ortuño, Adolf; Carreras Peñalvert, Josep (2019). "La mina 'Iris 18' (grupo minero 'Porvenir'), Escornalbou, Riudecanyes, el Baix Camp, Tarragona". *Paragénesis*, vol. 2, núm. 2 (2019-2), pp. 3-46.

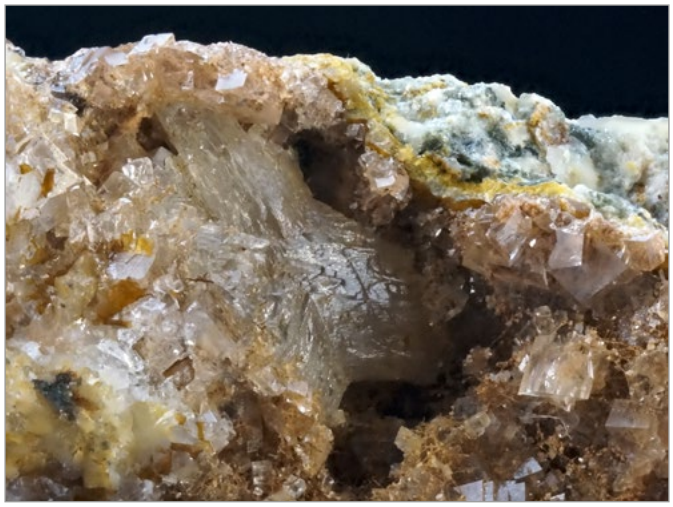
Webs consultadas

- El Castell de Barberà. Breve historia de Barberà del Vallès. La formación del Vallès y restos del Mioceno en Barberà [consultas: febrero y marzo 2021]. Disponible en <https://bdvcastell.wordpress.com/la-formacion-del-valles-y-restos-del-mioceno-en-barbera/>
- Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya [consulta: marzo 2021]. Disponible en <https://www.icgc.cat>.
- Luminescent Mineral Database and Information. Willemite [consultas: noviembre y diciembre de 2020]. Disponible en <https://www.fluomin.org/uk/fiche.php?id=199>.
- Mindat [consultas: diciembre 2020, enero, febrero y marzo 2021]. Disponible en <https://www.mindat.org>.
- Mineratlas (Grup Mineralògic Català). Can Donadeu #137 [consulta: marzo 2021]. Disponible en <https://mineratlas.com/location/137>.
- Mineratlas (Grup Mineralògic Català). Can Donadeu Ampliació #1572 [consulta: marzo 2021]. Disponible en <https://mineratlas.com/location/1572>.
- Mineratlas (Grup Mineralògic Català). Can Rovira #1573 [consulta: marzo 2021]. Disponible en <https://mineratlas.com/location/1573>.
- Spec4Gem (Spectroscopy for Gemologists). Reports. Very-light-yellow willemite from Franklin, New Jersey, USA [consultas: febrero y marzo 2021]. Disponible en <http://spec4gem.info/Reports/8-reports/274-very-light-yellow-willemite-from-new-jersey-usa.html>.
- The Fluorescent Mineral Society. Willemite [consultas: septiembre, octubre y noviembre 2020]. Disponible en <https://www.uvminerals.org/?s=willemite>.
- The Sterling Hill Mining Museum. Fluorescence [consultas: noviembre y diciembre 2020, enero 2021]. Disponible en <https://www.sterlinghillminingmuseum.org/fluorescence>.
- Universidad Nacional de Enseñanza a Distancia (UNED), sección “Cristamine”, página “Minerales fluorescentes” [consulta: diciembre 2020, febrero 2021]. Disponible en <https://www2.uned.es/cristamine/mineral/prop_fis/luminiscencia3.htm>.

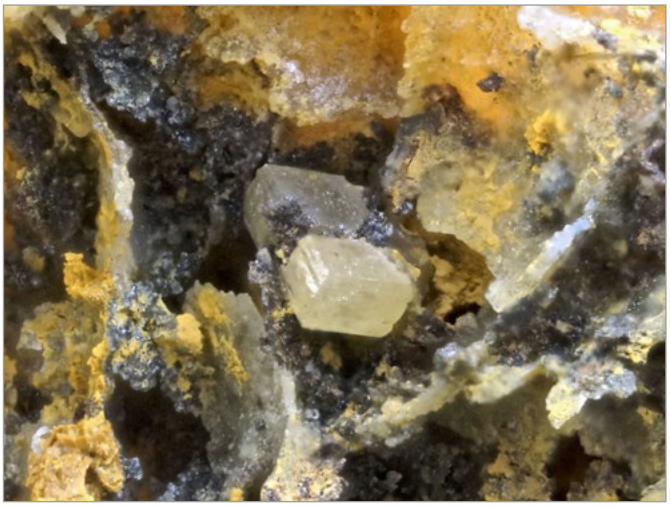
FECHA RECEPCIÓN: 02-02-21. *FECHA ACEPTACIÓN:* 08-02-21. *FECHA INICIO EDICIÓN:* 06-04-21.

Agregado de cristales de calcita, ricos en caras, de la geoda ‘Sanse’. Tamaño: 6 x 4,5 x 4 cm. Colección y foto: Josep Antoni Ignacio.

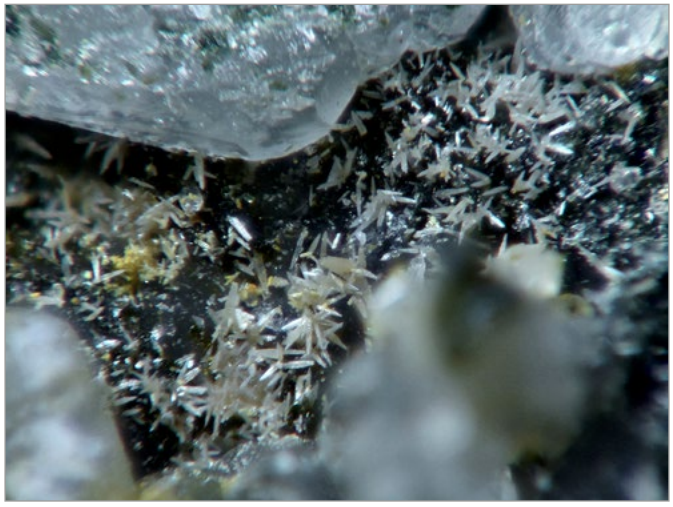
Cristales de cerusita y calcita. C.V.: 2 cm. Colección y foto: Emilio Téllez.



Macla múltiple (cíclica) de cerusita, con calcita, del filón 'rojo'.
C.V.: 6 mm. Colección y foto: Josep Antoni Ignacio.



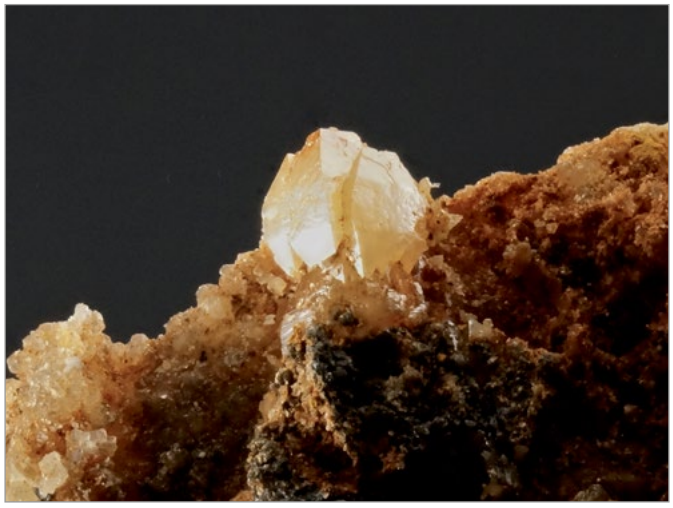
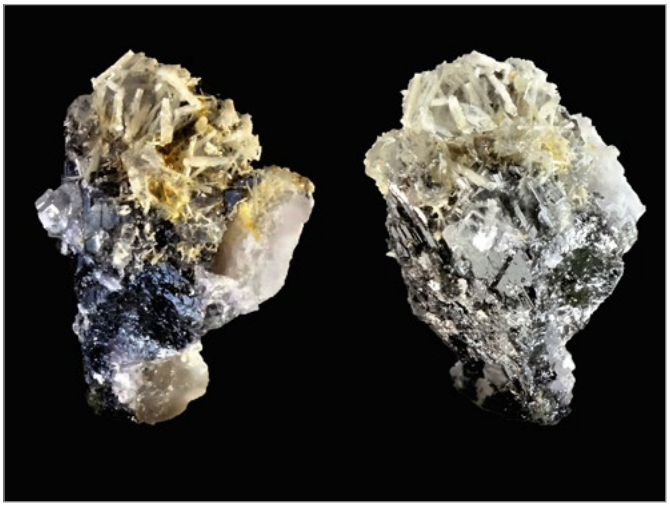
Wulfenita tabular, con fluorita y galena muy alterada.
C.V.: 3 mm. Colección y foto: Josep Antoni Ignacio.



Cristales casi aciculares de wulfenita. C.V.: 3 mm.
Colección y foto: Xavier Rodríguez.

Wulfenita en bipirámides agudas, con calcita y galena.
C.V.: 6 mm. Colección y foto: Josep Antoni Ignacio.

Cristales de wulfenita, con predominio piramidal. C.V.: 3 mm.
Colección y foto: Josep Antoni Ignacio.



Anverso y reverso de una muestra con cristales prismáticos de mimetita cálcica, sobre calcita. Medidas: 2 x 3 mm.
Colección: Jordi Ibáñez; foto: Josep Antoni Ignacio.